

独立行政法人 国立高等専門学校機構
弓削商船高等専門学校紀要
第 45 号

第 45 号 令和 5 年 3 月

【学術論文】

No.	頁	表題	著者名
1	1-5	FTIR-ATR 法による環境配慮型潤滑油ゲルの分析	村上 知弘, 室田 立樹, 佐久間 一行, 池田 真吾, 佐藤 圭司
2	6-10	液中プラズマを用いたビルジ水サンプル分解実験の初期実験結果について	佐久間 一行
3	11-22	コロナ禍の日本におけるクルーズ船の運航状況—2020 年から 2021 年の記録—	野々山 和宏, 加藤 博
4	23-28	平行平板間内を流れる修正指数法則流体の解析方法	横山 友花, ダワア ガンバット, 長井 弘志, ジャンバル オダゲレル
5	29-38	接触型 3 次元位置計測器へのキャリブレーションに対する低ランク近似の適用	前田 弘文
6	39-41	筆算を次第に表示するスライドではない教材の TeX による作成法	久保 康幸

【教育・研究報告】

No.	頁	表題	著者名
7	42-47	高専ロボコンにおける B チームの活動報告—2021 年と 2022 年について—	大澤 茂治

FTIR-ATR 法による環境配慮型潤滑油ゲルの分析

村上 知弘*, 室田 立樹**, 佐久間 一行*,
池田 真吾*, 佐藤 圭司***

Analysis of Environment - Friendly Lubricating Oil Gel by FTIR - ATR Spectroscopy

Tomohiro MURAKAMI*, Itsuki MUROTA**, Ikko SAKUMA*,
Shingo IKEDA*, and Keiji SATO***

Abstract

The use of environmentally friendly lubricating oils to be eco-friendly will become a prerequisite in the future world. The shipping industry currently mandates the use of considerate lubricants for ships entering USA, but not yet for others. However, it is expected that there will be a rapid transition to the environment-friendly type in the future. In this study, the status of non-environmentally friendly lubricating oils on the Yuge Maru, a training ship of National Institute of Technology, Yuge College was investigated using the ATR method of FTIR. In addition, we gelled environment-friendly lubricating oil and examined the state of gelation by ATR of FTIR spectroscopy.

1. はじめに

MARPOL (船舶海洋汚染防止条約) および IMO (国際海事機関) の規制より、石油および化学物質の偶発的な流出の環境汚染を防止している。現在、世界には5千を超える海洋保護区域が存在しており、特に極地の水域はますます強化されている。IMO の海洋安全委員会と海洋環境保護委員会は、極地を航行する船舶に関するガイドラインを発行した[1]。このガイドラインにおいて、船体の外側にある船尾管ベアリング、シールや主推進部品は汚染物質を漏出させてはならないと明記されている。さらに米国環境保護庁(US Environmental Protection Agency : EPA)は2013年に船舶入港規制 (Vessel General Permit : VGP) の新しいバージョンを発効した。これは米国の水域に寄港するすべての「船舶」に「環境配慮型潤滑油 (EAL) の使用を義務付けるものである。すべての接水部において環境を破壊しない潤滑油を使用する。ここで、潤滑油の機能と効果について改めて確認する。以下の6つ効果があげられる。機械面どうしに油膜を形成することで摩擦を低下させる。機械面どうしが直

接接触するのを防ぎ、摩耗を小さくする。摩擦熱を吸収し、冷却効果で焼付きを防止する。形成された油膜によって外部に物質等が入り出すのを防ぐ。金属表面に吸着することで錆を防止する。機械面に潤滑油が充填するため、外部からの異物を排除する[2]。このように潤滑油は機械を安定して運転させるために摩擦・摩擦を低減させるものであり、機械摺動部間にしっかりと油膜を形成し続ける必要がある。つまり油膜の形成保持が大変需要となるため、液体よりも流動性の少ないゲル化が最適であると考えられる。潤滑油のゲル化に関しては、これまでに設楽や大野らが、温度による低摩擦性を持ち、液体潤滑油に比べ機械摩擦面との吸着作用が増し、油膜形成状況が向上し、グリースなどと比べても潤滑油として長寿命であることを報告している[3-4]。

本研究では海洋環境保全と潤滑効果を備えた環境配慮型潤滑油ゲルの作製を試みた。また弓削商船高等専門学校 (以後本校) 練習船弓削丸で使用している非環境配慮型潤滑油及び一般に販売されている環境配慮型の潤滑油 (Environmentally Acceptable Lubricants: EAL) をフーリエ変換赤外分光光度計 FTIR (Fourier

* 商船学科
** 商船学科5年
*** 海技大学校

Transform Infrared Spectroscopy) の ATR (Attenuated Total Reflection) 法を用いてスペクトル分析から比較分析を行った。

2. 実験

2. 1 練習船弓削丸の潤滑油

本研究に使用した潤滑油は、前述のように本校練習船弓削丸で使用している非環境配慮型潤滑油 (ガデニア S3 SAE30 : 昭和シェル) である。同潤滑油の特性は以下のとおりである。密度 (15°C) 0.889 g/cm³, 引火点 (開放式) 270 °C、流動点 -25.0 °C, 色 L25, 動粘度 100.3 mm²/s (40°C), 12 mm²/s (100 °C), 粘度指数 110 となっている。また EAL として 600 dijet (MOTUL) を使用した。これらの特性は次のとおりである。密度 (20°C) 0.935 g/cm³, 引火点 (開放式) 258°C、流動点、-42.0 °C, 色 Blue, 動粘度 50.0 mm²/s (40°C), 8.5 mm²/s (100 °C) 粘度指数 147 となっている。また比較のために使用後の潤滑油として同弓削丸潤滑油も分析した。この使用後の潤滑油は、主に主機のもので、2021 年 12 月から 2022 年 11 月までの約 1 年使用したものである。これらの潤滑油の写真を図 1 及び図 2 に示す。図 1 の左は使用前のものであり、右は使用後となっている。図 2 に環境配慮型潤滑油 (600 dijet : MOTUL) (左) と比較の為の弓削丸潤滑油 (右) も示す。図 2 で示すように左側の環境配慮型潤滑油が黒く見え、図 1 で示す弓削丸潤滑油の使用後のような色合いである。



図 1 弓削丸潤滑油の使用前 (左) と使用后 (右)

図 2 に一般的なオイルゲルの構造を示す。主鎖としてアクリル酸オクタデシル(ODA)と架橋剤としてジメタクリル酸エチレングレコール(EGDMA)で合成する。そこに潤滑油 (シェルガデニア 30) を加えて溶解させる。次にイニシエーターとしてアゾビス (イソブチロニトリル) (AIBN) を加え溶解させ、ゲル化させる[4]。

ただし、作製後も室温付近では液体のままであり、低温になるとゲル化する。このゲル化が起こる温度に関しては、架橋剤などの量によって制御できる[5]。



図 2 環境配慮型潤滑油 (左) と弓削丸潤滑油 (右) []

2. 2 ASTM カラー

潤滑油の色を認識において、現場の技術が潤滑油の状態を判断する簡易な方法の一つであるといえる。劣化の原因として、酸化や熱分解や添加剤の変質または異物の混入などによって、潤滑油の色が変色する。その際に用いる基準の一つが ASTM (America Society for Testing and Materials) です。これは ASTM D1500 に規定されているように、石油製品の色を淡い色の 0.5 から濃い色の 8.0 に数値化し分類したものである。基準例として図 3 に示す。この数値は 0.5 刻みであり、試料の色が二つの ASTM 色の間にある場合は、濃い色の数値に L を付けて表示する。例えば、試料の色が 2.0 と 2.5 の間にある場合は L2.5 と表示する。この際、2.0 以上を酸化劣化限界としている。



図 3 ASTM カラーの色見本

目視での色診断では、弓削丸潤滑油の使用前が 2.0 で使用後が 8.0 ぐらいのように大きな違いがみられる。一方、環境配慮型潤滑油は、使用前から 8.0 のように色だけでは

判断できないものもある。このような際に、FTIR を用いて化学構造から劣化を診断することもできる。

2. 3 フーリエ変換赤外分光光度計(FTIR)

本研究に使用したフーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR) (JASCO FT-IR4600) を図4に示す。また、ATR (JASCO: PRO ONE)を図5に示す。本 ATR の特性は次の通りである。プリズム材質 ZnSe、測定面の大きさ 2.5 mm φ、反射 1 回、入射角 45°、有効波数範囲 7800~30 cm⁻¹、耐圧 400 kg/cm²である。この ATR は FTIR の中に設置するだけのものである。

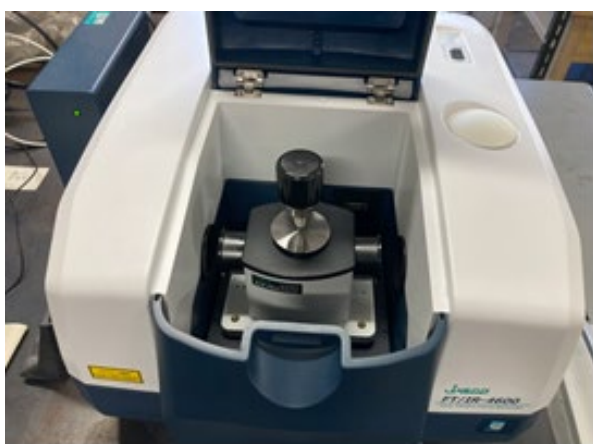


図4 FTIR

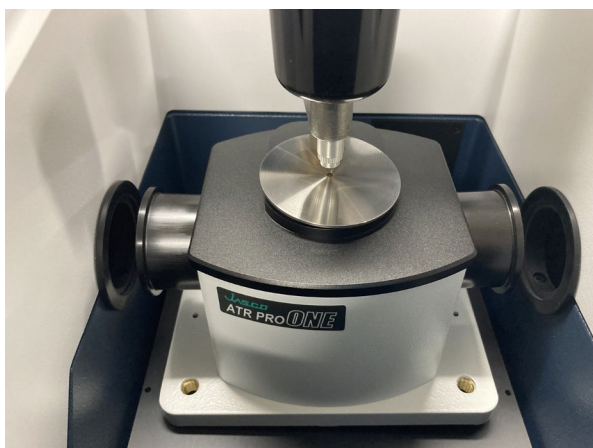


図5 ATR

図6に ATR の仕組みを模式的に示す。反射法で測定する方法の1つであり、サンプルの表面で全反射する光を測定することによって、サンプルの表面の光のもぐり込み (吸収スペクトル) を得る方法である。この ATR は一般的に幅広く使用されているサンプリン

グ方法である透過法と異なり、測定光路長はサンプルの厚さに依存することがない、正確なスペクトル情報が得られる[13]。同測定を行い、上述の潤滑油を測定し、得られたスペクトルデータからその違いの分析を行った。その後、環境配慮型潤滑油と非環境配慮型潤滑油に 12-ヒドロキシステアリン酸を添加しゲル化を試みた。そして得られた試料を同方法で測定し、どのような変化が起きているか分析した。

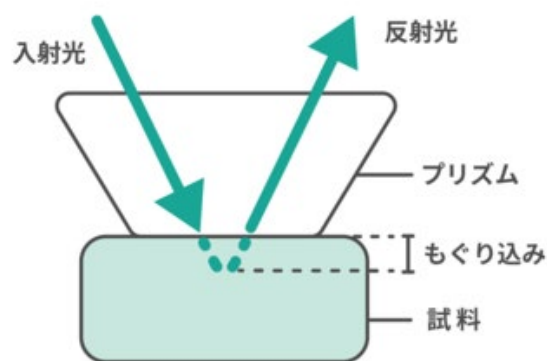


図6 ATR の仕組み[13]

3. 実験結果

はじめに弓削丸で使用している潤滑油の FTIR-ATR 法でのスペクトルを図7及び図8に示す。図7には弓削丸潤滑油である非環境配慮型潤滑油の使用前のスペクトルである。これは鉱油ベースであるためごく普通の油と同様な単純なスペクトルを示している。以前の実験で得られたデータと同様なものであり、C-H 伸縮振動 (3000~2840 cm⁻¹間のピーク) と C-H 変角振動 (1500~600 cm⁻¹間の三つのピーク) が見られた。つまりオクタンが主な構成物質であることが分かる。

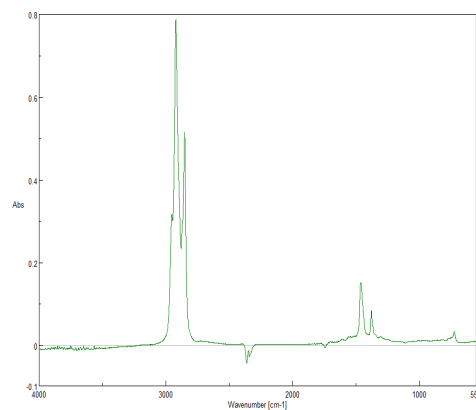


図7 弓削丸潤滑油使用前

次に図 8 は、前述の弓削丸で使用して非環境型潤滑油の使用後のものを測定したスペクトルである。これは約 1 年間弓削丸の主機で使用されたものである。大きな変化として 2840 cm^{-1} あたりに大きなピークが現れている。これは炭酸ガスに起因したスペクトルであるが、潤滑油に起因しているというよりは、機器の雰囲気の中の炭酸ガスに起因したものである可能性が高い。数度、同様に測定を行うとこれらのピークはなくなるときもある。

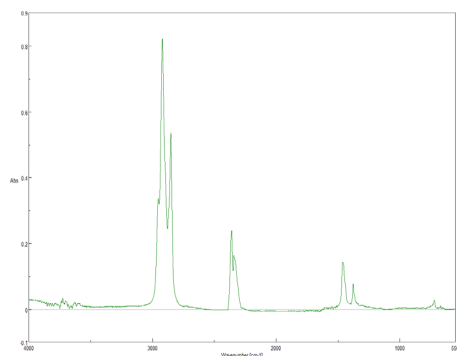


図 8 弓削丸潤滑油使用後

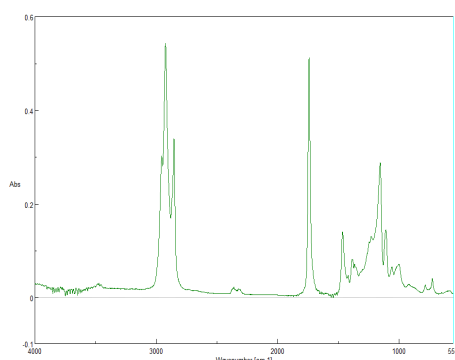


図 9 環境配慮型潤滑油

図 9 に環境配慮型の潤滑油の得られたスペクトルを示します。一方、図 9 に示す環境配慮型潤滑油は複雑な化学合成油であり、スペクトルに多数のピークが表れており特徴的な 1750 cm^{-1} 付近のピークから $\text{C}=\text{O}$ 伸縮結合が示されていることが分かる。これによりカルボニル化合物の存在を示し、エステルが含まれることが分かる。

さらにこの環境配慮型潤滑油を 12-ヒドロキシステアリン酸を添加しゲル化させ、その潤滑油ゲルを再度 FTIR-ATR 法で分析した。その結果を図 10 に示す。図 10 では数多くのピークが立ち、複雑に結合されてゲル化されている様子が示されている。特にエステル基 ($-\text{COO}-$) に由来する特徴的なピークが 1740 cm^{-1} 付近に検出された。

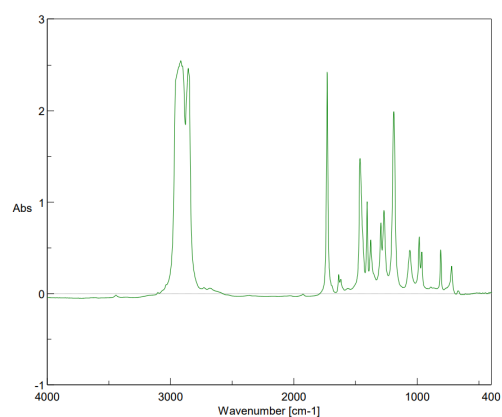


図 10 環境配慮型潤滑油ゲル

4. まとめ

潤滑油は酸化や添加剤の消耗、スラッジの蓄積等により劣化する。潤滑油の劣化は、エンジンの寿命低下や動作不良の原因となるため、劣化を正確に把握する必要がある。潤滑油の劣化評価するには、ASTM カラーで簡易的に診断する方法があり便利であるが、目視等により不正確である。また使用前から黒色などもあり、使用できないものもある。一方、FTIR-ATR 法で診断する方法があるが、これは正確な情報は得られるが機関室で簡単にできることではない。また機器も高額で費用が掛かるため、一般的とは言えない。

一般的に潤滑油は、機械を安定して運転させるために摩耗・摩擦を低減させるものである。そのために機械修道部間にしっかりと油膜を形成し続ける必要がある。また潤滑油の漏えいにより、油膜の形成保持に影響を及ぼすことを考慮するとき、流動性の少ないことが優位となる。そのためにゲル化が有効である。さらに環境によってグリースより、液体に近い挙動を示すことがゲルでは可能である。

これまで潤滑油のゲル化に関しては、以前より設楽らが常温で半固体のグリース状で、加熱すると液状になる熱可逆性のアミド系ゲル状潤滑油を作成し、潤滑性のみならず低摩擦特性を持つことが報告されてきた [3-4]。また潤滑油をゲル状にすることによって、液体潤滑油に比べ油膜形成が向上し、また漏えいも少なく、液状である海水との油水分離処理も容易になると考えられる。

さらに佐賀大の大野らによると潤滑剤をゲル状にすることによって、機械摩擦面との吸着作用が増し、油膜形成状況が向上し、グリースなどと比べても潤滑油として長寿命も確認されている [10]。

これまで我々も潤滑油をゲル化することを試みてき

た[11-13]。

最後に本校弓削丸で使用している非環境配慮型潤滑油を FTIR—ATR 法で測定した結果では、鉱油ベースの単純なスペクトルを示し、C-H 伸縮振動 (3000~2840 cm⁻¹間のピーク) と C-H 変角振動 (1500~600 cm⁻¹間の三つのピーク) が見られた。一方、環境配慮型潤滑油は様々な添加剤が購入されている化学合成油であり、スペクトルに多数のピークが表れた。特徴的な 1750 cm⁻¹付近のピークから C=O 伸縮結合が示されていることが分かる。これによりカルボニル化合物の存在を示し、エステルが含まれると分かる。ゲル化を行うとさらに結合されたピークが現われ、ゲル化の状況が明らかとなった。また、使用後のスペクトルでは、炭酸ガスに起因するピークが得られたが、これは潤滑油の使用による二酸化炭素が金しているのではなく、FTIR 中の雰囲気中の二酸化炭素が起因したものだと思われる。

ニアリング学術講演会講演論文集, P259-260, (2021).

参考文献

- [1] EPA, homepage, <https://www.epa.gov/vessels-marinas-and-ports/vessels-vgp> (20221123 参照)
- [2] <http://www.matsuda-shouten.co.jp/productlist/SLJ/leaflet/4.marine/Shell%20Gadina%20S3.pdf>
- [3] 設楽裕治, ENEOS Technical Review, 第 53 巻, 第 3 号, (2011).
- [4] 設楽裕治, トライボロジスト, 58 巻, 10 号, P 722-727, (2013).
- [5] 本田知己□, 福井大学大学院工学研究科 研究報告 第 67 巻, P17-22, (2018).
- [6] 本田知己□, トライボロジスト, 53 巻, 5 号, P3119-325, (2008)
- [7] 村上知弘, 馬越翔吾, 池田真吾, マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P47-48 (2011).
- [8] 村上知弘, 池田真吾, 黒川耀工, 鶴村凜太郎, マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P139-140, (2018).
- [9] https://bunseki-keisoku.com/article/normal/ftir_atr/
- [10] Toshikazu Ono, Takahiro Sugimoto, Seiji Shinkai, Kazuki Sada : Nature Materials, 6, P429-433, (2007).
- [11] 村上, 馬越, 池田, 第 81 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P47-48, (2011).
- [12] 村上, 池田, 佐藤, 第 90 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, P222-223, (2020).
- [13] 村上, 池田, 佐久間, 佐藤, 第 91 回マリンエンジ

液中プラズマを用いたビルジ水サンプル 分解実験の初期実験結果について

佐久間 一行*

Initial results of decomposition experiment for bilge water sample by using in-liquid plasma

Ikko Sakuma*

Abstract

Bilge water that is generated in the engine room of a ship and accumulates in the bottom of the ship can emulsify under the influence of surfactants. The emulsified bilge water must be treated by oil-water separation, which requires not only the cost of equipment but also the labor of the crew. To improve this situation, I propose a bilge water treatment method using in-liquid plasma and report the initial results of decomposition experiments. It was confirmed that emulsified bilge water samples were decomposed into soot in the plasma experimental apparatus with a simple structure using counter electrodes. From the mass of soot generated by the decomposition, it was estimated that a plasma surface area of 1.2 to 0.5 m² is required to treat 90 kg of bilge water.

1. 緒言

船舶の機関室ではその大小や船種によらず不要な水が発生し船底に溜まる。これをビルジ水という。ビルジ水の発生源は多岐に渡るため、海水も含む水分や潤滑油や燃料油などの油分も含む。また、船底には船体等から発生する鉄粉、すすやその他の粒子状の物質や洗浄に使用した界面活性剤なども溜まるため、まとめるとビルジ水は水分、油分、界面活性剤、粒子状物質が混在するような廃液となる。そして、界面活性剤の影響でビルジ水中の油分は乳化する可能性があるため、油水分離処理には油水分離機だけでなく別途フィルタ処理が必要となる。このため、現在の船舶では国際海事機構によって、乳化したビルジ水の油水分離処理が可能な設備の搭載が求められている[1].

一方で、これらの業務は船員の労働によって支えられているが、特に外航船員においては、海上労働に関する条約(MLC2006[2])によって労働時間などの人的資源は厳密に管理されている。このため、船内の労働力を効率良く割り当てて運航する必要から、船内作業の効率化は常に求められる。ビルジ水処理は、処理後に生じた油分を焼却する必要があり、こ

れには多くの労働力が割かれているため廃油の発生を抑制する技術開発が求められている。

そこで、佐久間研究室ではこれまでに、ビルジタンク内に設置することでタンク内のビルジ水の油分解処理を行える方法として、水中気泡内に発生させたプラズマである液中プラズマ[3,4]による酸化または熱分解処理方法を提案し開発した実験装置に

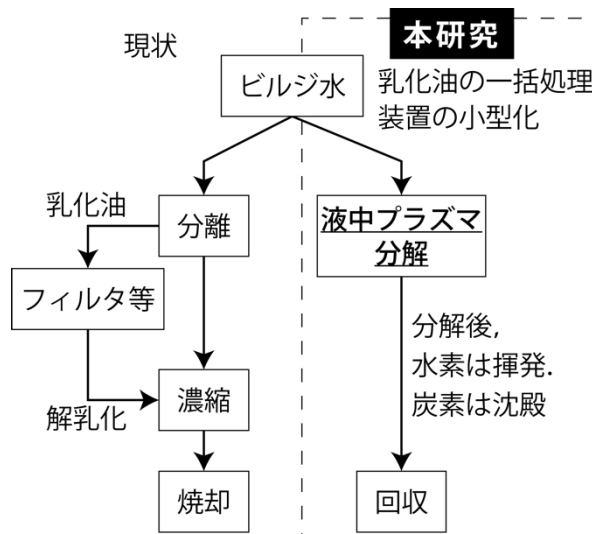


図1 乳化したビルジ水の処理方法と本研究における提案手法

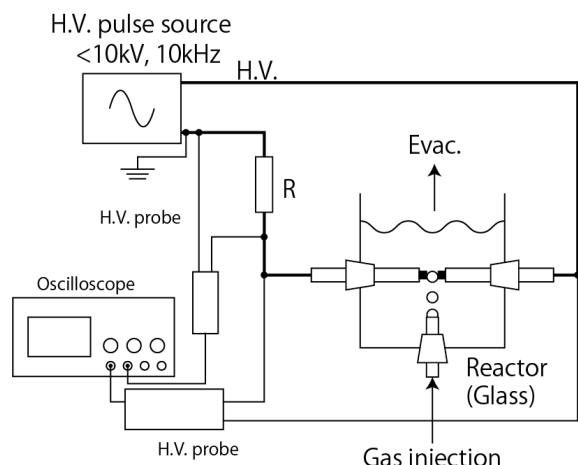


図 2 液中プラズマ実験装置概略図

ついて報告した[5]. これは図 1 に示すように、これまでの油水分離とフィルタ処理とを行った上で焼却処理されていた廃油に比べて、水中にプラズマ発生源を挿入し、液中プラズマ放電を行うことで、油分の分解処理を行う手法である。

本紀要では、これまでに開発した液中プラズマ実験装置を用いて行ったビルジ水模擬サンプルの分解処理実験についての初期実験結果を報告する。

2. 実験条件

2. 1 実験装置

実験装置に概要図を図 2 に示す。反応容器は、ホウケイ酸ガラス管(内径 30 [mm])の左右の穴($\phi 10$ [mm])からシリコン栓を通した対向棒電極を挿入する形状である。ガラス管の下方は気泡注入のためのガラス管(内径 6 [mm])を貫通させたシリコン栓で封じており、一方の上方は排気を逃すためのステンレス管(1/4 [in])を通したシリコン栓で封じる構造となる。電極はタングステン棒($\phi 1$ [mm])、ニラコ社製材料を使用し、その外側を絶縁用のセラミック管(外径 2 [mm], 内径 1 [mm], アルミナ, ニラコ社製)で覆っており、水中にはタングステン棒の先端 0.5 [mm]のみを露出させている。電極間距離は 0.5 [mm]で、気泡注入のガラス管は電極から端から下方に 0.5 [mm]離れてセラミック管に接するような形で配置されている。これは、気泡が電極を避けて浮上して放電が生じないことを避けるためである。

電源は両極性パルス電源(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。また、電源回路は長時間放電による焼損や加熱を抑えるため図 1 に示すように、電流制限用のホ

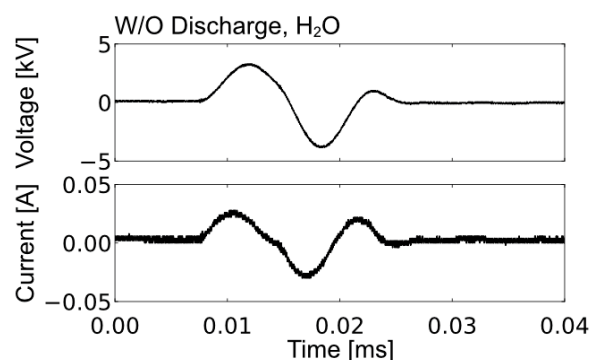


図 3 典型的な高電圧バイポーラ電源電圧電流波形

ロー抵抗器(OHMITE 社製, L100J10KE, 10000 [Ω], 100 [W])を接続した。電圧計測は高電圧プローブ(Pintek 社製 DP-22Kpro, <7.8 [kVrms]および Instek 社製 GDP-050, <2.3 [kVrms])を用いて計測し、回路の電流は電流センサ(URD 社製, CTL-6-P-Z, 検出抵抗 100 [Ω])を用いて計測してそれぞれオシロスコープ(RIGOL 社製, DS1054)に接続して波形を取得した。放電が無い状態の水中での電極間電圧電流波形を図 3 に示す。電極間に印加される高電圧パルスは一つのパルスが 5 [μs]程度の半値幅をもつパルス波が数回両極で繰り返す波束を形成している。この波束が 10 [kHz]の繰り返し周波数で電極間に印加される。この波束のデューティ比は 0.2 程度である。一方で電流は約 35° 電流位相が進んでいる。これは、水の汚染による導電率の向上によるためではなく、電極間距離が短いことで対向棒電極がキャパシタの役割を果たすためと考えられる。

放電試験は、液体に水、気泡用のガスにこれまでの研究[5]でも用いたアルゴン(Ar)をそれぞれ使用した。また水では光の透過率が高いため可視分光計測を行った。採光には平面凸レンズ(シグマ光機社製, SLSQ-20-30P)を通して光ファイバに集光して、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])に光を導いてプラズマからの発光分光計測を行った。一方で、ビルジ水模擬サンプルへの分解実験の様子を撮影した写真を図 4(a)に示すと、模擬サンプルの油水が乳化しているためプラズマの発光を散乱させるため、集光して分光器で検出可能な発光を採光することができなかった。しかしながら、図 4(b)に示すデカンを用いた分解実験の様子と比べて発光色がよく似ていることから、炭化水素が分解する際に生じる C_2 結合に由来する Swan 帯発光が生じている可能性がある。

ビルジ水模擬サンプル分解実験では、表 1 に示す内訳で作成したビルジ水模擬サンプルを用いた[6]. 界面活性剤には広く一般に使われているドデシルベ

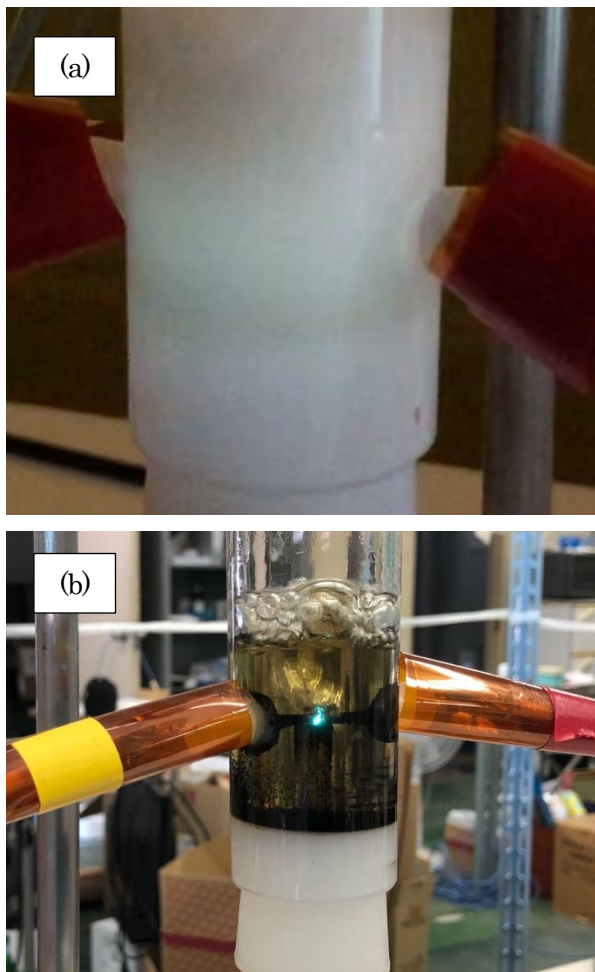


図 4 各サンプル分解実験の様子：(a)ビルジ水模擬サンプル、(b)デカン

表 1 ビルジ水模擬サンプルの組成表

材料	質量 [g]
水道水	949.4
軽油	25.0
A重油	25.0
界面活性剤*	0.5
酸化鉄(II)	0.1

*ドデシルベンゼンスルホン酸
ナトリウム(ソフト型)

ンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) を用いた。これらを分解実験の直前に攪拌して使用した。また、試料内の酸化鉄は粉体であるが実験の際にはサンプル油水内に気泡注入による対流が生じているにもかかわらず多くの酸化鉄粉が沈降した。実験では、こ

れまでに予備実験として実施した炭化水素分解実験同様に 30.0 [g]を使用した。電極間に Ar ガスを種ガスとして注入し、電極間に高電圧パルスを印加し放電することで液中プラズマが形成されて油分が分解される。本実験においては、電圧印加時間と放電時間との差は見掛け上等しいため、電圧印加時間を分解処理時間として考えた。

分解処理した後は、ビルジ水模擬サンプルに含まれる油分の炭化水素が分解され、固体の残渣が生じる。そこで、これらを濾過装置によりメンブレンフィルタ(Omnipore 社製、孔径：10 [μm]、フィルタ直径：47 [mm]、材質：親水性 PTFE)に堆積させて残渣の質量計測を行った。

3. 実験結果

3. 1 放電波形

本研究で行ったビルジ水模擬サンプルの分解実験の結果について報告する。図5に実験中の典型的な放電波形を示す。放電波形においては、ある放電開始電圧にパルス電圧が立ち上がった時に放電が始まり、それに振動が観測がされる。図5(b)の電流波形と併せて見ても、プラズマは一度放電が始まると波束が続く間は放電も継続されていることがわかる。電圧は波束が終わる時間になってもやや残っており、いずれかの場所に帯電している可能性が考えられるが、電流は波束の収束に伴い流れなくなる。電力波形からもその様子が確認できる。一方で、電圧の立ち上がりを見るとゼロから立ち上がっているため、帯電による電圧も次のパルスには影響を与えておらず、典型的にはプラズマの放電は波束間に渡って継続しない。

一方で、水中の気泡の上昇速度を気泡を球体とみなして簡易的に求めるとおよそ 60 [m/s]であり、この速度では電圧の繰り返し周期の間に6 [mm]程度進むと考えられるため、気泡内部では、気泡が電

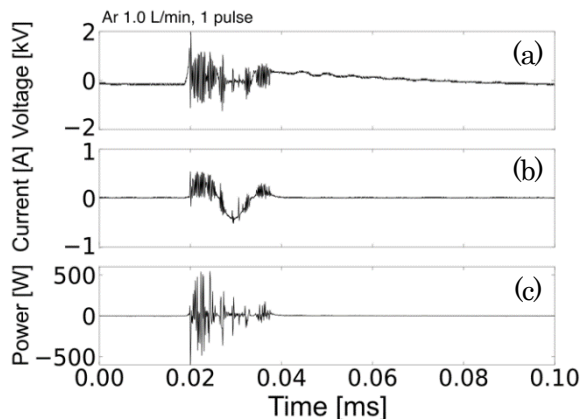


図 5 ビルジ水試験体分解実験中の典型的な放電波形：(a)電極間電圧波形、(b)電流波形、(c)電力波形

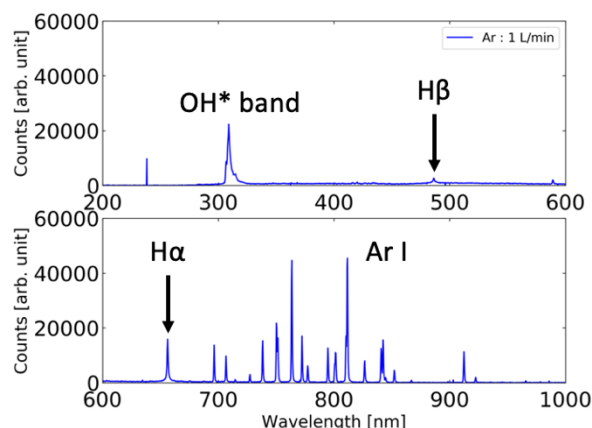


図 6 水中における Ar 液中プラズマ放電時の分光計測結果(採光時間 10 s)

極間にまたがった時から離れるまでに多数の放電が繰り返し発生していると考えられる。

3. 2 分光計測結果

実験に先立って、別途水中で放電した時の可視分光計測を行った典型的なスペクトルを図6示す。これまでの実験での報告[5]同様にAr, H, O, OHラジカルに由来する発光が観測された。また、図4(a)に示す通りビルジ水模擬サンプルの分解実験では分光計測が十分に行えていないが、参考に挙げた図4(b)のデカン分解時の発光分光計測結果によると、でかんのような炭化水素が燃焼する時など青い発光が肉眼で観測されるが、これは炭化水素にある二原子炭素から発せられる可視光帯によるものでC2 Swan帯であると考えられる[7]。ビルジ水サンプルの発光も同様に油分の二原子炭素によるC2 Swan帯発光の可能性が考えられる。

3. 3 残渣質量計測結果

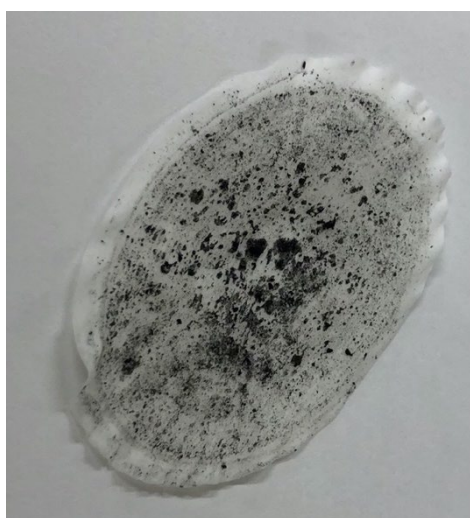


図 7 分解実験後の残渣の様子

表 2 ビルジ水サンプル分解実験結果まとめ

実験時間 [h]	残渣質量 [g]	処理効率 [g/h]	分解油分質量比 [%]
3	0.016	0.005	1.1
4	0.049	0.012	3.2

ビルジ水模擬サンプルは分解試験後に残渣が生じる。この残渣は放電によって油分が熱分解または化学変化して形成されたものであると考えられるため、その残渣量を計測することで、液中プラズマ実験装置によるビルジ水模擬サンプルの分解性能を評価した。図7にメンブレンフィルタで濾過したビルジ模擬サンプルの残渣の様子を示す。模擬サンプルの濾過はメンブレンフィルタで濾過した後乾燥機で水分を蒸発させてから質量の計測を行った。メンブレンフィルタの上に肉眼でも確認できる直径 0.5 [mm]程度の黒い粒状の物質やそれより細かい黒い物質が多数堆積していることがわかる。分解実験の結果一覧を表2に示す。残渣質量はメンブレンフィルタ上に堆積した残渣質量を計測したもので、処理効率は一時間あたりの処理量に換算した。分解油分質量比は、ビルジ水サンプルに含まれる油分質量に対して残渣が分解された油分だとして分解された油分の割合を示したものである。表より、残渣質量は実験時間の増加によって増えている。元々ビルジ水サンプル中には 5 [%]しか油分が含まれていない中で、微小なプラズマ放電を行うことで油分が分解されることが確認することができた。今後はより詳細な結果の取得を進めることで飽和傾向など調査したい。また、本研究では酸化鉄粉は目視での除去となったため、放電への影響は不明であるが酸化鉄粉のない状態で進めることを検討したい。

また、残渣については、これまでにデカン分解実験をおこなった際に調査した際に非結晶性の炭素の塊であることが確認されており、本研究で生じた残渣も概ね同様であると考えられるが、軽油、重油には多種多様な元素が含まれているため、より詳細な調査を行う必要がある。

4. 実船への適用可能性について

分解実験の結果を踏まえて、実船での状況を外挿することで検討した。まず、本研究で用いた液中プラズマは気泡と液体との界面で反応が起こると考えられる。このため、分解処理に寄与するのはプラズマの表面積であると考えられる。ここで、プラズマの表面積を電極間の円筒状の空間の側面部分であると考えると表面積はおおよそ 1.57×10^{-6} [m²]である。一時間あたりの処理量から、1 [m²]の表面積をもつ

プラズマが 1 時間あたりに処理して生じる残渣量は 3.2–7.6 [kg/h]程度と見積もることが可能となる。これを 24 時間運転での処理量にすると 1 [m²]の面積をもつプラズマはビルジ水中の油を分解した結果 1 日で 76.8–182.4 [kg]の残渣を発生させることが可能であると考えられる。1 日あたりに生じるビルジ水は 2[m³/day]程度[8]と考えられており、A 重油の比重を 0.9, ビルジ水中の油分を 5 [%]と見積もると 1 日に処理する必要のある油分は 90 [kg]と考えられる。油分全てが等しく残渣になるわけではないが、分解によって 90 [kg]の残渣が生じる場合には 90 [kg]以上の油分が分解されていると考えて、この処理に必要なプラズマの面積を外挿によって見積もるとおよそ 0.5–1.2 [m²]である。これはビルジ水のタンクの大きさを鑑みると決して難しい大きさではないと考えられる。

5. 結言

本研究では、乳化した船舶ビルジ水の処理方法の改善を目的に液中プラズマを用いた分解処理方法を提案した。実験装置では、水または液体サンプルの中に気泡を注入して対向棒電極に高電圧パルス電圧を印加して放電によりプラズマを形成する。本研究ではさらに、初期実験として乳化したビルジ水を模擬した試験サンプルを用いた分解実験を行い、その分解処理量を調査した結果を報告した。実験では分解処理によって煤状の残渣が生じることが明らかとなり、これの質量を調査することで分解処理量を評価した。本研究でのプラズマは微小でありその面積は簡単に見積もると 1.57×10^{-6} [m²]程度である。このため放電による処理効率は 0.005–0.012 [g/h]である。一方で、面積を拡大して実船に乘せる程度の大きさに外挿すると 0.5–1.2 [m²]の面積をもつプラズマとすることで 1 日あたり 90 [kg]の油分を処理できる程度の処理能力を持つことが明らかとなった。今後はより詳細な分解実験の実施および残渣の調査を行う予定である。

謝辞

本研究は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] Resolution MEPC.107(49), (2003).
- [2] Maritime Labour Convention, (2006).
- [3] S. Nomura *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **20**, 034012, (2011).

- [4] S. Nomura, J. Plasma Fusion Res., **89**, 199–206, (2013).
- [5] 佐久間一行, 弓削商船高等専門学校紀要, **41**, 7–11, (2019).
- [6] 日本造船研究協会, 油の排出管理機器に関する調査研究成果報告書, RR-E201, 2003.
- [7] 白井紘行 他, 日本航空宇宙学会誌, **34**, 386 号, 135–140, (1986).
- [8] 上田浩一他, 日本マリンエンジニアリング学会誌, **39**, 10, 669–674, (2004).

コロナ禍の日本におけるクルーズ船の運航状況

—2020年から2021年の記録—

野々山 和宏*・加藤 博**

Voyage Logs of Japanese Cruise Ship under the COVID-19 Pandemic —From 2020 to 2021—

Kazuhiro Nonoyama*, Hiroshi Kato**

Abstract

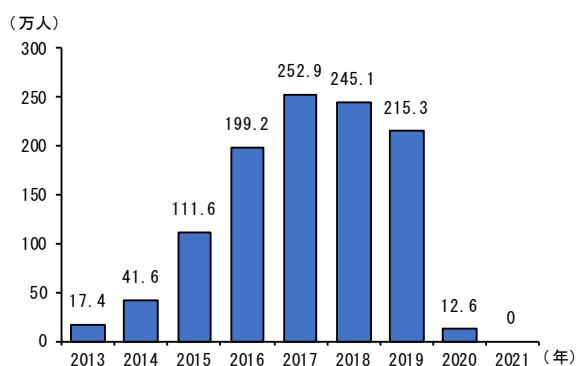
On November 15, 2022, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism announced that it will resume accepting international cruises in Japan. Japanese shipping companies have gradually resumed domestic cruises during the corona crisis. However, Japan Cruise Lines Co., Ltd., which operates the Pacific Venus, has announced that it will end its cruise ship business in January 2023. Why do Japanese shipping companies stop operating cruise ships? To answer, this study collected the operational records of Japanese cruise ships from 2020 to 2021. As a result, under the COVID-19 Pandemic, it was found that Japanese cruise ships were forced to cancel operations or change.

1. はじめに

2022年11月15日、国土交通省は日本における国際クルーズの受入を再開することを発表した^[1]。日本では今般の新型コロナウイルス感染症の拡大初期において、大型クルーズ船「ダイヤモンド・プリンセス」での集団感染もあり、2020年3月以降、外国船社が運航するクルーズ船の日本寄港や日本船社運航のクルーズ船が行う国際クルーズは運航が停止されている。

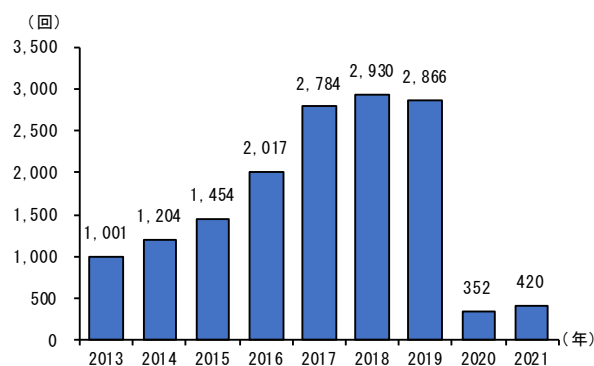
日本におけるクルーズについては、2016年に明日の

日本を支える観光ビジョン構想会議が取りまとめた「明日の日本を支える観光ビジョン—世界が訪れたい日本へ—」において「クルーズ船受入の更なる拡充」が謳われ、「訪日クルーズ旅客を2020年に500万人」という目標が立てられた^[2]。その後、外航クルーズ客船による訪日外国人数は急増し、2017年には252.9万人に達した。だが、2018年以降は外航クルーズ客船による訪日外国人数は伸び悩み、2019年には215.3万人であった(図1)。また、日本の港湾へのクルーズ船の寄港回数は2017年以降、2,700回を超えていた(図



出所: 国土交通省「訪日クルーズ旅客数及びクルーズ船の寄港回数(2021年確報)」p.3

図1 クルーズ船による外国人入国者数(概数)



出所: 国土交通省「訪日クルーズ旅客数及びクルーズ船の寄港回数(2021年確報)」p.4より筆者作成

図2 我が国港湾へのクルーズ船の寄港回数

*商船学科
**練習船弓削丸

2)。このような中で発生したのがコロナ禍であった。今回の国土交通省の発表を受けて、クルーズ船寄港による観光活性化等への期待が高まっている。

一方で、2020年12月から国内クルーズを再開させていた「ぱしふいっくびいなす」を運航する日本クルーズ客船株式会社は2022年11月1日、2023年1月をもって客船事業を終了すると公表した⁴⁾。報道によれば、運航終了の要因は「コロナ禍の影響による厳しい事業環境」とされ⁴⁾、「ぱしふいっくびいなす」はコロナ禍以降、外航クルーズを再開しないまま運航を終えることになる。

以上を踏まえて、本稿ではコロナ禍において、国際クルーズに先んじて運航を再開した日本船社クルーズ船による国内クルーズについて2021年末までの運航状況を確認したい。結論を先取りすれば、この時期の国内クルーズは運航中止やそれに伴うスケジュール改定が行われていた。今回の確認は、今後のクルーズ振興のあり方を考える上での基礎資料とすることが目的である。

2. 日本船社の運航するクルーズ船

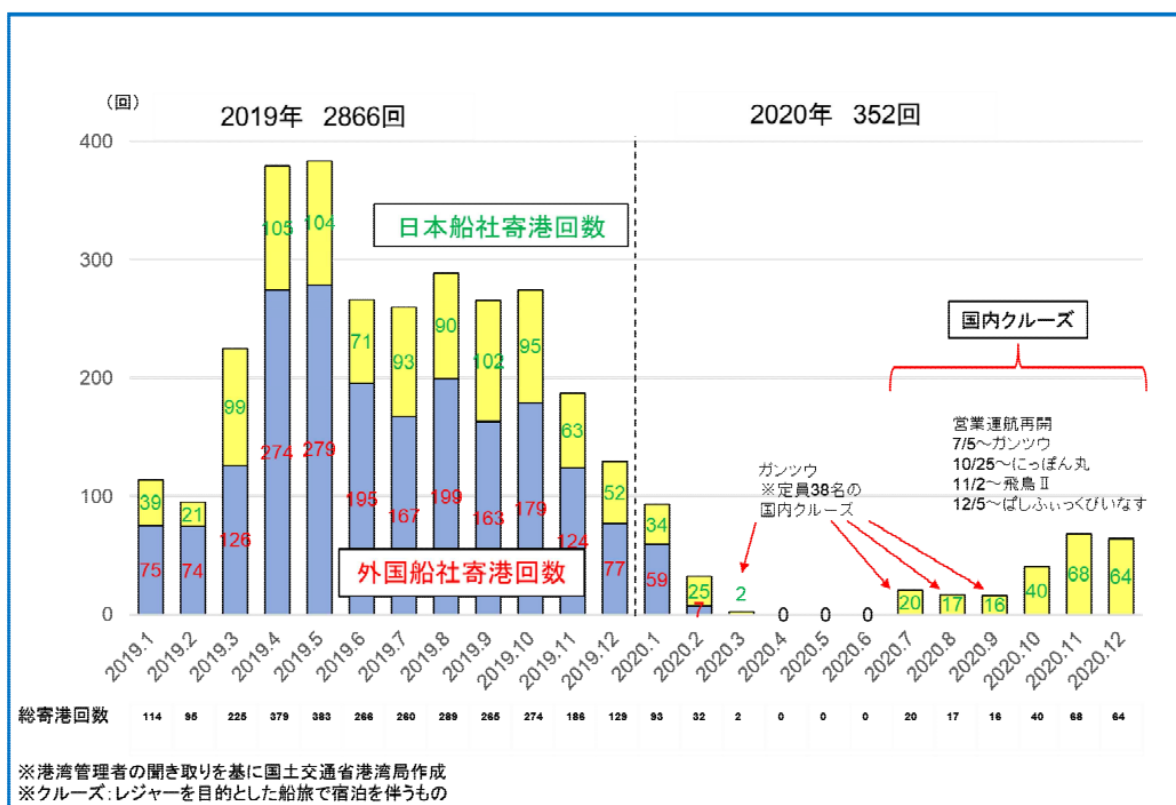
コロナ禍が続く中、日本船社は2020年7月からクルーズ船の運航を順次再開した。そして、2020年末ま

でに4隻が国内クルーズを再開した(図3)。表1はこれら4隻の主要目等である⁵⁾。

表1からわかるように、日本船社の運航するクルーズ船の中で最も大きいのは「飛鳥II」であり、総トン数は5万トンを超える。ただ、世界のクルーズ船の中には23万総トンを超えるものも存在しており、それらと比較すると決して大きな方ではない。「ぱしふいっくびいなす」や「にっぽん丸」も総トン数は2万トンを超すが、これら日本船の特徴として、大型客船では入港できない日本の港湾の多くに寄港することができる点が挙げられている⁶⁾。なお、「ガンツウ」は全長が81.2mであり、他の3隻と比べれば小さなクルーズ船である。

ここで、クルーズ船の категорияについて触れたい。クルーズ船にはグレードがあり、一般に乗客1人当たりの占有容積(表1では、スペース比率)が大きければ、また乗組員1人当たりの乗客数(同、乗組員比率)が少なければ、グレードが高い⁷⁾。表1では、「スタンダード」「プレミアム」「ラグジュアリー」の順でグレードが上がっていく⁸⁾。なお、クルーズ船については格付けも行われている⁹⁾。

表1の4隻の中では、「ガンツウ」が群を抜いてホスピタリティが高い。乗組員比率でもスペース比率でも、「ガンツウ」は他の3隻とは相当異なっている。しか



出所: 国土交通省「訪日クルーズ旅客数及びクルーズ船の寄港回数(2020年確報)」p.7

図3 我が国港湾へのクルーズ船の月別寄港回数(2019/2020)

表1 2020年に運航を再開した日本船社のクルーズ船

	飛鳥II	にっぽん丸	ばしふいっくびいなす	ガンツウ
所属	郵船クルーズ	商船三井客船	日本クルーズ客船	せとうちクルーズ
総トン数	50,444トン	22,472トン	26,594トン	3,013トン
全長	240.96m	166.65m	183.40m	81.20m
型幅	29.60m	24.00m	25.00m	13.75m
喫水	8.00m	6.56m	6.52m	2.45m
船籍	日本	日本	日本	日本
カテゴリー	ラグジュアリー	プレミアム/ ラグジュアリー	プレミアム/ ラグジュアリー	ラグジュアリー
乗客定員	872人	400人	460人	38人
乗組員数	490人	230人	220人	46人
乗組員比率 ¹⁾	1.78人	1.74人	2.09人	0.83人
スペース比率 ²⁾	57.85トン	56.18トン	57.81トン	79.29トン

1) 乗組員1人当たりの乗客定員
2) 乗客定員1人当たりの総トン数

出所: 海事プレス社『クルーズ客船データブック2022-2023』より筆者作成

し、このことは「ガンツウ」の運航形態が他の3隻と違っていることも意味している。「ガンツウ」は2017年10月に就航し、瀬戸内海を巡るクルーズを行っている⁹⁾。クルーズ中は港には着岸せず、テンダーボートで各地に上陸するという¹⁰⁾。「ガンツウ」のクルーズは、コンセプトとして「ただ、過ぎゆく時を愉しむ」を掲げており、これまで広く行われていたクルーズとは趣を異にしている¹⁰⁾。

他方、「飛鳥II」「にっぽん丸」「ばしふいっくびいなす」の3隻は、コロナ禍になる2019年以前は国際クルーズも行っていた外航クルーズ船である。これらのことから、今後のクルーズ振興のあり方を考える上での基礎資料の作成を目指す今回の確認では、日本船社が運航する外航クルーズ船である「飛鳥II」「にっぽん丸」「ばしふいっくびいなす」を対象として、運航記録を収集した。

3. コロナ禍の日本におけるクルーズ船の運航状況

3.1 クルーズ船の運航記録の収集方法等

本稿における確認を行うにあたって、日本船社が運航する外航クルーズ船の運航記録³⁾を、各運航船社のウェブサイト等から収集することを試みた。しかし、なかなかまとまった形で運航記録が掲載されておらず、この方法で各船の運航状況を把握することは困難であることがわかった。

このため、今回は日本におけるクルーズ船社の業界団体である一般社団法人日本外航客船協会のウェブサイトにある「クルーズニュース」¹¹⁾に掲載されていた記事から、2020年下期から2021年末にかけての各クルーズ船の運航記録を収集した。「クルーズニュース」の閲覧は、いずれも2022年11月上旬から中旬にかけて行った。なお、この「クルーズニュース」には、クル

ーズ船の運航中止やスケジュール改定の記事もあったため、同時に収集した。ただ、今回収集した記事の中には、運航予定に記載はないものの運航中止を伝えられたクルーズも存在した。そこで、今回は運航中止のみだけ伝えられたものも含めて「クルーズニュース」に掲載されていたすべてのクルーズを集め、運航日程等の不足した情報は旅行代理店等のウェブサイトから内容を補い、各クルーズ船の運航実態を把握するよう努めた。

また、上記の作業から、2021年において各船で予定されていたクルーズが中止になった後に別クルーズが組まれるクルーズの再設定や大掛かりなクルーズスケジュールの改定が多く行なわれていたことが判明した。そのため、クルーズ船の運航記録をまとめる⁴⁾際に、まず各運航会社が最初に発表していた当初予定のスケジュールを作成し、その後の再設定クルーズについては別にまとめることとした。なお、クルーズの再設定については、最大3回組み直されたクルーズ⁵⁾があったため、再設定が繰り返されたクルーズについてもそれぞれ記載した。

以上のような作業を経てまとめた日本船社の運航する外航クルーズ船の運航状況を表2以下に示す。表2～4は2020年下期から2021年の各船の当初予定された運航スケジュールであり、表5～7は2021年における再設定以降の運航状況である。次節では、これらからこの時期の日本船社が運航する外航クルーズ船の動向を概観する。

3.2 2020年下期におけるクルーズ船の運航状況

コロナ禍が続く中で営業運航の再開を模索していた日本の外航クルーズ船は、2020年9月以降、クルーズ

表2 2020年下期から2021年における「飛鳥II」の運航状況(当初予定)

(2020年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
30周年オープニングクルーズ	11月2日	横浜	清水	横浜	11月5日	3	4	
秋の行楽 四日市クルーズ	11月5日	横浜	四日市	横浜	11月7日	2	3	
秋の横浜・神戸 週末ワナイトクルーズ	11月7日	横浜		神戸	11月8日	1	2	
神戸発着 日南・瀬戸内 秋風クルーズ	11月9日	神戸	油津(日南)	神戸	11月12日	3	4	
神戸発 秋澄む 神戸・横浜クルーズ	11月12日	神戸		横浜	11月14日	2	3	
秋の熊野ウィークエンドクルーズ	11月14日	横浜	新宮	横浜	11月16日	2	3	
秋の横浜ワナイトクルーズ	11月17日	横浜		横浜	11月18日	1	2	
横浜オータムクルーズ	11月18日	横浜		横浜	11月20日	2	3	
秋の連休 新宮・四日市クルーズ	11月20日	横浜	新宮/四日市	横浜	11月23日	3	4	
深秋の薩摩・神戸クルーズ	11月23日	横浜	鹿児島	神戸	11月26日	3	4	
秋の神戸 週末ワナイトクルーズ	11月27日	神戸		神戸	11月28日	1	2	
神戸発着 瀬戸内・土佐クルーズ	11月28日	神戸	高知	神戸	12月1日	3	4	
神戸発 熊野・駿河・横浜クルーズ	12月1日	神戸	新宮/清水	横浜	12月4日	3	4	
Xmas 横浜 週末ワナイトクルーズ A	12月5日	横浜		横浜	12月6日	1	2	
横浜スペシャルクリスマス ON ASUKA II	12月6日	横浜		横浜	12月8日	2	3	
Xmas ハーパーライト横浜・神戸クルーズ	12月8日	横浜		神戸	12月10日	2	3	
神戸スペシャルクリスマス ON ASUKA II	12月10日	神戸		神戸	12月12日	2	3	
Xmas 神戸 週末ワナイトクルーズ	12月12日	神戸		神戸	12月13日	1	2	
Xmas 名古屋ワナイトクルーズ	12月14日	名古屋		名古屋	12月15日	1	2	
名古屋発着 高知クリスマスクルーズ	12月15日	名古屋	高知	名古屋	12月17日	2	3	
名古屋発 Xmas グループサウンズ クルーズ	12月17日	名古屋		横浜	12月19日	2	3	
横浜ウィークエンドクリスマスクルーズ	12月19日	横浜		横浜	12月21日	2	3	
横浜ゆったりクリスマスクルーズ	12月21日	横浜		横浜	12月23日	2	3	
Xmas 横浜ワナイトクルーズ B	12月23日	横浜		横浜	12月24日	1	2	
クリスマス横浜ワナイトクルーズ	12月24日	横浜		横浜	12月25日	1	2	
Xmas 横浜 週末ワナイトクルーズ C	12月25日	横浜		横浜	12月26日	1	2	
横浜 週末ワナイトクルーズ	12月26日	横浜		横浜	12月27日	1	2	
年末 悠々クルーズ	12月28日	横浜		横浜	12月30日	2	3	
ニューイヤー駿河クルーズ	12月30日	横浜	清水	横浜	1月2日	3	4	

(2021年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
新春 ゆったりクルーズ	1月2日	横浜		横浜	1月4日	2	3	
横浜 結航路 駿河・四日市クルーズA	2月1日	横浜	清水/四日市	横浜	2月4日	3	4	○
春めく高知・神戸クルーズ	2月4日	横浜	高知	神戸	2月7日	3	4	○
神戸発着 春の音クルーズ	2月7日	神戸		神戸	2月9日	2	3	○
神戸 結航路 日向・土佐くろしおクルーズ	2月9日	神戸	細島(日向)/高知	神戸	2月12日	3	4	○
神戸発 春節 長崎ウィークエンドクルーズ	2月12日	神戸		長崎	2月14日	2	3	○
長崎発 早春の薩摩・神戸クルーズ	2月15日	長崎	鹿児島	神戸	2月18日	3	4	○
神戸発 早春の神戸・横浜クルーズ	2月18日	神戸		横浜	2月20日	2	3	○
横浜 結航路 熊野・駿河ウィークエンドクルーズ	2月20日	横浜	新宮/清水	横浜	2月23日	3	4	○
早春の四日市クルーズ	2月23日	横浜	四日市	横浜	2月25日	2	3	○
きさらぎの別府・神戸クルーズ	2月25日	横浜	別府	神戸	2月28日	3	4	○
名古屋発着 高知・ひな祭りクルーズ	3月1日	名古屋	高知	名古屋	3月4日	3	4	○
名古屋発 早春の阿波・神戸クルーズ	3月4日	名古屋	小松島(徳島)	神戸	3月6日	2	3	○
神戸発着 やよい日南・別府クルーズ	3月6日	神戸	油津(日南)/別府	神戸	3月10日	4	5	○
神戸発 春うらら神戸・東京クルーズ	3月10日	神戸		東京	3月12日	2	3	○
神戸発着 春の日向ウィークエンドクルーズ	3月19日	神戸	細島(日向)	神戸	3月21日	2	3	○
神戸発 春うらら神戸・横浜クルーズ	3月21日	神戸		横浜	3月23日	2	3	○
横浜 結航路 駿河・四日市クルーズB	3月23日	横浜	清水/四日市	横浜	3月26日	3	4	○
A-styleクルーズ ～春彩～	3月26日	横浜		横浜	3月28日	2	3	
佐世保発着 陽春の金沢・舞鶴クルーズ	3月31日	佐世保	金沢/舞鶴	佐世保	4月5日	5	6	
佐世保発 のんびり春旅 佐世保・横浜クルーズ	4月5日	佐世保		横浜	4月7日	2	3	○
横浜スプリングクルーズ	4月7日	横浜		横浜	4月9日	2	3	
春の東北 大船渡・小名浜クルーズ	4月9日	横浜	大船渡/小名浜	横浜	4月13日	4	5	
神戸発 春の北前航路 境港・金沢クルーズ	4月14日	神戸	境港	金沢	4月17日	3	4	
金沢発着 京都舞鶴ウィークエンドクルーズ	4月17日	金沢	舞鶴	金沢	4月19日	2	3	
金沢発 春の北前航路 秋田・函館クルーズ	4月19日	金沢	秋田	函館	4月21日	2	3	○
函館発 のんびり春旅 函館・横浜クルーズ	4月21日	函館		横浜	4月23日	2	3	○
横浜 結航路 鳥羽・紀州日高クルーズ	4月23日	横浜	鳥羽/日高	横浜	4月26日	3	4	

表2 2020年下期から2021年における「飛鳥II」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
新緑の四日市クルーズ	4月27日	横浜	四日市	横浜	4月29日	2	3	
ゴールデンウィーク 青森・北海道クルーズ	4月29日	横浜	青森/函館/釧路	横浜	5月5日	6	7	◎
日本周遊Aコース 神戸発着新緑の九州めぐりクルーズ	5月6日	神戸	別府/長崎/八代	神戸	5月12日	6	7	
神戸発着 薫風の土佐クルーズ	5月12日	神戸	高知	神戸	5月14日	2	3	
神戸発着 A-styleクルーズ	5月14日	神戸		神戸	5月16日	2	3	
神戸発 のんびり春旅 神戸・横浜クルーズ	5月16日	神戸		横浜	5月18日	2	3	
新緑のみのちのく・室蘭クルーズ	5月18日	横浜	青森/室蘭/大船渡	横浜	5月23日	5	6	○
のんびり春旅 横浜・門司クルーズ	5月24日	横浜		門司	5月26日	2	3	○
門司発着 境港ウィークエンドクルーズ	5月28日	門司	境港	門司	5月30日	2	3	○
門司発 薫風の日南・名古屋クルーズ	5月30日	門司	油津(日南)	名古屋	6月2日	3	4	○
名古屋発着 初夏の薩摩・土佐クルーズ	6月2日	名古屋	鹿児島/高知	名古屋	6月6日	4	5	○
日本周遊Bコース 横浜発着 西国漫遊クルーズ	6月7日	横浜	下関/長崎/鹿児島	横浜	6月13日	6	7	○
初夏の横浜・函館クルーズ	6月13日	横浜		函館	6月15日	2	3	○
函館 結航路 深緑の室蘭・釧路クルーズ	6月15日	函館	室蘭/釧路	函館	6月18日	3	4	○
函館発着 洋上満喫ウィークエンドクルーズ	6月18日	函館		函館	6月20日	2	3	○
函館発 夏至の函館・横浜クルーズ	6月20日	函館		横浜	6月22日	2	3	○
初夏の横浜・神戸 ゆったりワンナイトクルーズ	6月22日	横浜		神戸	6月23日	1	2	○
日本周遊Cコース 神戸発着 初夏のみのちのく・函館クルーズ	6月24日	神戸	八戸/函館/宮古	神戸	6月30日	6	7	○
神戸発 夏の神戸・横浜クルーズ	6月30日	神戸		横浜	7月2日	2	3	○
A-styleクルーズ ～夏彩～	7月2日	横浜		横浜	7月4日	2	3	○
日本周遊Dコース 横浜発着 夏の北海道クルーズ	7月4日	横浜	函館/苫小牧/釧路	横浜	7月10日	6	7	○
夏の鳥羽ウィークエンドクルーズ	7月10日	横浜	鳥羽	横浜	7月12日	2	3	○
夏の横浜ワンナイトクルーズ	7月12日	横浜		横浜	7月13日	1	2	○
夏の駿河・土佐・神戸クルーズ	7月13日	横浜	清水/高知	神戸	7月16日	3	4	○
神戸発着 夏の日南クルーズ	7月16日	神戸	油津(日南)	神戸	7月19日	3	4	○
神戸発 ぶらり夏旅 神戸・門司クルーズ	7月19日	神戸		門司	7月21日	2	3	○
門司発着 連休利用 夏の日本海クルーズ	7月23日	門司	境港/浜田	門司	7月26日	3	4	○
門司発 夏の北前航路 境港・金沢クルーズ	7月26日	門司	境港	金沢	7月28日	2	3	○
金沢発 夏の北前航路 酒田・函館クルーズ	7月28日	金沢	酒田	函館	7月30日	2	3	○
函館発 ぶらり夏旅 函館・横浜ウィークエンドクルーズ	7月30日	函館		横浜	8月1日	2	3	○
夏休み 伊豆大島・新島遊覧クルーズ	8月1日	横浜		横浜	8月3日	2	3	□
夏祭りに沸く東北 秋田・青森クルーズ	8月3日	横浜	船川(男鹿)/秋田/青森	横浜	8月9日	6	7	□
夏休み 伊東クルーズ	8月9日	横浜	伊東	横浜	8月11日	2	3	□
夏祭りに沸く四国 阿波・高松クルーズ	8月11日	横浜	小松島(徳島)/高松	横浜	8月15日	4	5	□
夏の高知・熊野沖クルーズ	8月16日	横浜	高知	横浜	8月20日	4	5	□
若大将クルーズ	8月20日	横浜		横浜	8月22日	2	3	□
夏の室蘭・釧路・八戸巡りクルーズ	8月22日	横浜	室蘭/釧路/八戸	横浜	8月28日	6	7	□
夏休み 鳥羽ウィークエンドクルーズ	8月28日	横浜	鳥羽	横浜	8月30日	2	3	□
夏の函館・小樽紀行クルーズ	8月30日	横浜	函館	小樽	9月2日	3	4	□
小樽発着 稚内・オホーツク網走クルーズ	9月2日	小樽	稚内/網走	小樽	9月6日	4	5	□
小樽発 爽秋の日本海 男鹿・新潟クルーズ	9月6日	小樽	船川(男鹿)	新潟	9月8日	2	3	□
新潟発着 秋の雅旅 能登・丹後クルーズ	9月8日	新潟	七尾/舞鶴	新潟	9月11日	3	4	□
佐世保発 瀬戸内航行 秋の佐世保・神戸クルーズ	9月13日	佐世保		神戸	9月15日	2	3	□
神戸発着 秋彩高知クルーズ	9月15日	神戸	高知	神戸	9月17日	2	3	□
神戸発着 連休利用 瀬戸内航行 秋の日向クルーズ	9月17日	神戸	細島(日向)	神戸	9月20日	3	4	□
神戸発 のんびり秋旅 神戸・横浜クルーズ	9月20日	神戸		横浜	9月22日	2	3	□
祝日利用 秋の行楽 鳥羽・高知クルーズ	9月22日	横浜	鳥羽/高知	横浜	9月26日	4	5	□
秋の日本一周クルーズ Aコース	9月26日	横浜	函館/能代	金沢	10月1日	5	6	□
秋の日本一周クルーズ Bコース	10月1日	金沢	門司/鹿児島	横浜	10月6日	5	6	□
ザ・グリーン・ミラーオーケストラクルーズ	10月6日	横浜		横浜	10月8日	2	3	□
横浜 オクトバーウィークエンドクルーズ	10月8日	横浜		横浜	10月10日	2	3	
横浜 結航路 秋の新宮・四日市クルーズ	10月10日	横浜	新宮/四日市	横浜	10月13日	3	4	
A-tripクルーズ ～フランス気分～	10月13日	横浜		横浜	10月15日	2	3	
秋の伊豆大島・新島遊覧ウィークエンドクルーズ	10月15日	横浜		横浜	10月17日	2	3	
のんびり秋旅 横浜・神戸クルーズ	10月17日	横浜		神戸	10月19日	2	3	□
神戸発 秋の神戸・横浜 ゆったりワンナイトクルーズ	10月25日	神戸		横浜	10月26日	1	2	□
30周年アニバーサリークルーズ	10月27日	横浜	長崎/姫路	横浜	11月2日	6	7	□

表2 2020年下期から2021年における「飛鳥II」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
横浜発 秋彩ひたちクルーズ	11月2日	横浜	常陸那珂	横浜	11月4日	2	3	
横浜発 横浜 結航路 駿河・熊野ウィークエンドクルーズ①	11月5日	横浜	清水/新宮	横浜	11月8日	3	4	
横浜発 のんびり秋旅 横浜・長崎クルーズ	11月8日	横浜		長崎	11月10日	2	3	
門司発 門司発着 秋の瀬戸内航行 土佐クルーズ	11月13日	門司	高知	門司	11月16日	3	4	
神戸発 神戸 結航路 熊野・駿河ウィークエンドクルーズ	11月18日	神戸	新宮/清水	神戸	11月21日	3	4	
神戸発 神戸発着 秋彩土佐クルーズ	11月22日	神戸	高知	神戸	11月24日	2	3	
横浜発 横浜 結航路 駿河・熊野ウィークエンドクルーズ②	11月25日	横浜	清水/新宮	横浜	11月28日	3	4	
横浜発 Xmas四日市クルーズ	11月29日	横浜	四日市	横浜	12月1日	2	3	
横浜発 Xmas四日市・駿河湾クルーズ	12月2日	横浜	四日市	横浜	12月5日	3	4	
横浜発 オールディーズミュージック ON ASUKA II	12月6日	横浜		横浜	12月8日	2	3	
名古屋発 名古屋スペシャルクリスマス ON ASUKA II	12月9日	名古屋		名古屋	12月11日	2	3	
神戸発 神戸スペシャルクリスマス ON ASUKA II	12月12日	神戸		神戸	12月14日	2	3	
神戸発 神戸発 神戸・横浜ゆったりクリスマスクルーズ	12月15日	神戸		横浜	12月17日	2	3	
横浜発 JAZZ ON ASUKA II with BLUE NOTE TOKYO	12月18日	横浜		横浜	12月20日	2	3	
横浜発 横浜スペシャルクリスマス ON ASUKA II	12月22日	横浜		横浜	12月24日	2	3	
横浜発 クリスマスウィークエンドクルーズ	12月24日	横浜		横浜	12月26日	2	3	
年末悠々 四日市・駿河湾クルーズ	12月27日	横浜	四日市	横浜	12月30日	3	4	
ニューイヤー駿河クルーズ	12月31日	横浜	清水	横浜	1月3日	3	4	

※「中止」欄における○印は当該クルーズが中止になったことを示し、□印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再設定)ことを示す。

なお、◎印はクルーズ航行中に新型コロナウイルス陽性者の乗船が確認され中止となったものである。

出所: 一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

表3 2020年下期から2021年における「にっぽん丸」の運航状況(当初予定)

(2020年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
神戸発着 秋の味覚クルーズ	11月2日	神戸	館山	神戸	11月4日	2	3	
神戸ワンナイトクルーズ	11月5日	神戸		神戸	11月6日	1	2	
横浜発着 秋の味覚クルーズ	11月7日	横浜	清水	横浜	11月9日	2	3	
にっぽん丸紀行 浜島 ～スペシャルエンターテイメント～	11月10日	横浜	志摩(浜島)	横浜	11月12日	2	3	
横浜ワンナイトクルーズ	11月13日	横浜		横浜	11月14日	1	2	
にっぽん丸紀行 鳥羽 ～スペシャルエンターテイメント～	11月15日	横浜	鳥羽	横浜	11月17日	2	3	
名古屋発着 秋の小豆島クルーズ	11月18日	名古屋	小豆島	名古屋	11月20日	2	3	
神戸発着 秋の高千穂クルーズ	11月21日	神戸	細島	神戸	11月23日	2	3	
横浜発着 秋の絶景クルーズ ～香風溪～	11月24日	横浜	蒲郡	横浜	11月26日	2	3	
横浜発着 秋の絶景クルーズ ～寒霞溪～	11月27日	横浜	小豆島	横浜	11月29日	2	3	
横浜発着 熊野詣クルーズ	11月30日	横浜	新宮	横浜	12月2日	2	3	
サンタクルーズ東京 A	12月4日	東京		東京	12月5日	1	2	
サンタクルーズ名古屋	12月6日	名古屋		名古屋	12月7日	1	2	
サンタクルーズ大阪	12月8日	大阪		大阪	12月9日	1	2	
サンタクルーズ徳山	12月11日	徳山		徳山	12月12日	1	2	
サンタクルーズ広島	12月13日	広島		広島	12月14日	1	2	
サンタクルーズ宇野	12月15日	宇野		宇野	12月16日	1	2	
サンタクルーズ神戸	12月17日	神戸		神戸	12月18日	1	2	
サンタクルーズ東京 B	12月19日	東京		東京	12月20日	1	2	
サンタクルーズ東京 C	12月21日	東京		東京	12月22日	1	2	
サンタクルーズ清水	12月23日	清水		清水	12月24日	1	2	
神戸発着 年忘れにっぽん丸クルーズ ～別府・瀬戸内海周遊～	12月25日	神戸	別府	神戸	12月28日	3	4	
にっぽん丸 迎春クルーズ	12月29日	横浜	高松	横浜	1月1日	3	4	

(2021年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
初春の宝船 にっぽん丸クルーズ ～スペシャルエンターテイメント～	1月2日	横浜	鳥羽	横浜	1月5日	3	4	
&クルーズ ～東京/別府～	1月11日	東京		別府	1月13日	2	3	
神戸発着 にっぽん丸 Luxury	1月17日	神戸	清水	神戸	1月19日	2	3	○
名古屋発着 こんぴらさんクルーズ	1月20日	名古屋	高松	名古屋	1月22日	2	3	○

表3 2020年下期から2021年における「にっぽん丸」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
横浜発着 にっぽん丸 Luxury	1月23日	横浜	清水	横浜	1月25日	2	3	○
にっぽん丸30周年クルーズ	1月25日	横浜		横浜	1月27日	2	3	○
瀬戸内夕景クルーズ	2月4日	大阪	伊予長浜/小豆島	大阪	2月7日	3	4	○
安芸の宮島クルーズ	2月8日	大阪	宮島	大阪	2月10日	2	3	○
瀬戸内小島探訪クルーズ	2月11日	神戸	周防大島/高松	神戸	2月14日	3	4	○
美食の船旅 瀬戸内海クルーズ	2月15日	名古屋		名古屋	2月17日	2	3	○
瀬戸内美術館探訪クルーズ	2月18日	名古屋	坂出/瀬戸田	名古屋	2月21日	3	4	○
とことん生口島クルーズ	2月22日	神戸	瀬戸田	神戸	2月24日	2	3	○
瀬戸内 味めぐりクルーズ	2月25日	神戸	宮島/松山	神戸	2月28日	3	4	○
ぐるっと四国クルーズ	3月1日	横浜	高知/小豆島	横浜	3月4日	3	4	○
春の四万十・新宮クルーズ	3月25日	横浜	土佐清水/新宮	横浜	3月28日	3	4	
神戸発着 にっぽん丸 春の宴クルーズ	3月29日	神戸	油津	神戸	3月31日	2	3	
神戸発着 にっぽん丸Luxury	4月4日	神戸	清水	神戸	4月6日	2	3	
にっぽん丸ぐるり九州クルーズ～海からの絶景～	4月7日	神戸	佐世保/宮崎	神戸	4月11日	4	5	
神戸/名古屋クルーズ	4月11日	神戸		名古屋	4月12日	1	2	
名古屋発着 こんびらさんクルーズ	4月12日	名古屋	高松	名古屋	4月14日	2	3	
名古屋/横浜クルーズ	4月14日	名古屋		横浜	4月15日	1	2	
横浜発着 春の味覚クルーズ	4月15日	横浜	鳥羽/館山	横浜	4月18日	3	4	○
にっぽん丸ネイチャークルーズ～鳥島周遊～	4月18日	横浜		横浜	4月20日	2	3	
にっぽん丸 春クルーズ～青森・男鹿～	4月20日	横浜	男鹿/青森	横浜	4月25日	5	6	
とことんお伊勢まいりクルーズ	4月25日	横浜	鳥羽	横浜	4月27日	2	3	
横浜発着 にっぽん丸Luxury	4月27日	横浜	清水	横浜	4月29日	2	3	
ゴールデンウィーク 日本一周クルーズ	4月29日	横浜	佐伯/宗像/舞鶴/輪島/秋田/登別	横浜	5月8日	9	10	○
週末利用 初夏の鳥羽クルーズ	5月8日	横浜	鳥羽	横浜	5月10日	2	3	○
横浜発着 伊豆諸島クルーズ～鳥島・婿婦岩・青ヶ島周遊～	5月10日	横浜		横浜	5月13日	3	4	○
星の箱船 青ヶ島周遊クルーズ	5月13日	東京		東京	5月15日	2	3	○
ウィークエンド 東京/名古屋クルーズ	5月15日	東京		名古屋	5月16日	1	2	○
名古屋発着 にっぽん丸Select ～徳島・淡路島～	5月16日	名古屋	徳島/神戸	名古屋	5月18日	2	3	○
名古屋/神戸クルーズ	5月18日	名古屋		神戸	5月19日	1	2	
神戸発着 瀬戸内海周遊クルーズ	5月19日	神戸		神戸	5月21日	2	3	○
にっぽん丸 やまたび×しまたび	5月21日	神戸	別府/尾道糸崎	神戸	5月24日	3	4	○
広島発着 伊勢神宮・熊野古道クルーズ	5月27日	広島	鳥羽/新宮	広島	5月30日	3	4	○
門司発着 四万十クルーズ	5月31日	門司	土佐清水	門司	6月2日	2	3	○
門司/鳥取/金沢クルーズ	6月2日	門司	鳥取	金沢	6月4日	2	3	○
金沢発着 輪島クルーズ	6月4日	金沢	輪島	金沢	6月6日	2	3	□
金沢発着 ひがし北海道と白神山地クルーズ	6月7日	金沢	釧路/能代	金沢	6月11日	4	5	○
新潟発着 初夏の北海道クルーズ～釧路・白老～	6月12日	新潟	白老/釧路	新潟	6月15日	3	4	○
Oasisにっぽん丸	6月19日	東京	大洗/蒲郡	東京	6月22日	3	4	○
東京発着 にっぽん丸 岬めぐり～石廊崎・御前崎・瀬岬～	6月22日	東京	浜島	東京	6月25日	3	4	○
海の東京クルーズ	6月25日	東京		東京	6月27日	2	3	○
とことん東北クルーズ	6月27日	東京	石巻/大船渡	東京	6月30日	3	4	○
横浜発着 伊豆諸島周遊クルーズ	7月1日	横浜		横浜	7月3日	2	3	○
ウィークエンド 横浜/名古屋クルーズ	7月3日	横浜		名古屋	7月4日	1	2	○
名古屋発着 瀬戸内海 美食クルーズ	7月4日	名古屋		名古屋	7月6日	2	3	○
名古屋/神戸クルーズ	7月6日	名古屋		神戸	7月7日	1	2	○
神戸発着 にっぽん丸 岬めぐり～都井岬・佐多岬・足摺岬～	7月7日	神戸	土佐清水	神戸	7月10日	3	4	○
にっぽんの楽園クルーズ ～沖繩・宮古島～	7月10日	神戸	那覇/宮古島	神戸	7月16日	6	7	○
ウィークエンド 瀬戸内海クルーズ	7月16日	神戸		神戸	7月18日	2	3	○
夏の伊豆諸島クルーズ～鳥島・婿婦岩周遊～	7月23日	東京		東京	7月25日	2	3	
にっぽん丸ファミリークルーズ ～マジックフェス！～	7月27日	横浜		横浜	7月29日	2	3	
夏休み 熱海花火クルーズ	7月29日	横浜	熱海	横浜	7月31日	2	3	○
夏旅にっぽん丸 ～青ヶ島周遊～	7月31日	横浜		横浜	8月2日	2	3	
東北夏祭りクルーズ	8月2日	横浜	秋田/青森	横浜	8月7日	5	6	□
にっぽんの楽園クルーズ	8月7日	横浜	八丈島	横浜	8月10日	3	4	□
夏休み 横浜ワンナイトクルーズA	8月10日	横浜		横浜	8月11日	1	2	□
関門海峡・阿波おどりクルーズ	8月11日	横浜	下関/徳島	横浜	8月16日	5	6	□
夏休み 熊野大花火大会と徳島クルーズ	8月17日	四日市	徳島	四日市	8月19日	2	3	□

表3 2020年下期から2021年における「にっぽん丸」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
にっぽん丸 夏のオペラクルーズ～藤原歌劇団公演 歌劇「蝶々夫人」G.プッチーニ作曲 原語上演・字幕付き～	8月20日	横浜		横浜	8月22日	2	3	○
夏休み 横浜フナイトクルーズB	8月22日	横浜		横浜	8月23日	1	2	○
瀬戸内海・周防大島と九十九島クルーズ	8月24日	神戸	周防大島/佐世保	神戸	8月27日	3	4	○
にっぽん丸 岬めぐりクルーズ～都井岬・佐多岬・足摺岬～	8月28日	神戸	土佐清水	神戸	8月31日	3	4	○
新潟発着 初秋の北海道クルーズ～函館・釧路～	9月3日	新潟	函館/釧路	新潟	9月6日	3	4	○
金沢発着 出雲大社・長門クルーズ	9月7日	金沢	境港/仙崎	金沢	9月10日	3	4	○
金沢/大阪クルーズ	9月11日	金沢		大阪	9月13日	2	3	○
船旅にっぽん丸～柳井と沖ノ島周遊～	9月15日	大阪	柳井	大阪	9月18日	3	4	○
名古屋発着 ぐるり四国一周クルーズ	9月19日	名古屋	土佐清水/高松	名古屋	9月22日	3	4	○
にっぽん丸で航く 秋の熊野古道	9月23日	横浜	新宮	横浜	9月26日	3	4	
にっぽん丸紀行 焼き物の街・常滑～スペシャルエンターテインメント～	9月27日	横浜	常滑	横浜	9月29日	2	3	
秋の味覚クルーズ～蒲郡・鳥羽～	10月11日	横浜	蒲郡/鳥羽	横浜	10月14日	3	4	
週末利用 別府・生口島クルーズ	10月15日	神戸	別府/瀬戸田	神戸	10月18日	3	4	
にっぽん丸30周年記念クルーズ	10月22日	横浜		横浜	10月24日	2	3	
神戸発着 にっぽん丸 宮崎クルーズ	10月27日	神戸	宮崎	神戸	10月29日	2	3	○
広島発着 屋久島・高千穂クルーズ	11月3日	広島	細島/屋久島	広島	11月6日	3	4	
神戸発着 四万十・屋久島プレミアム	11月7日	神戸	宿毛/屋久島	神戸	11月10日	3	4	
神戸発着 高千穂・耶馬溪クルーズ	11月11日	神戸	別府/細島	神戸	11月14日	3	4	
名古屋発着 秋の祖谷溪・寒霞溪クルーズ	11月15日	名古屋	高知/小豆島	名古屋	11月18日	3	4	
にっぽん丸で航く 秋の三陸 宮古	11月19日	東京	宮古	東京	11月22日	3	4	
横浜発着 秋の香嵐溪・寒霞溪クルーズ	11月23日	横浜	蒲郡/小豆島	横浜	11月26日	3	4	
Oasis にっぽん丸	11月27日	横浜		横浜	11月29日	2	3	
名古屋発着 南九州 宮崎クルーズ	11月30日	名古屋	宮崎	名古屋	12月3日	3	4	
神戸発着 冬の味覚クルーズ～鹿児島～	12月4日	神戸	鹿児島	神戸	12月7日	3	4	
横浜発着 にっぽん丸のクリスマス ～大塚国際美術館貸切コンサート～	12月12日	横浜	徳島	横浜	12月15日	3	4	
にっぽん丸花火と冬の味覚クルーズ ～鳥羽～	12月16日	横浜	鳥羽	横浜	12月19日	3	4	
名古屋発着 にっぽん丸のクリスマス ～大塚国際美術館貸切コンサート～	12月20日	名古屋	徳島	名古屋	12月22日	2	3	
神戸発着 別府・瀬戸内海クリスマスクルーズ	12月23日	神戸	別府	神戸	12月26日	3	4	
年忘れ にっぽん丸花火クルーズ	12月27日	横浜	清水	横浜	12月29日	2	3	
にっぽん丸 迎春クルーズ ～高知・鳥羽～	12月30日	横浜	高知/鳥羽	横浜	1月3日	4	5	

※「中止」欄における○印は当該クルーズが中止になったことを示し、□印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再設定)ことを示す。

出所：一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

表4 2020年下期から2021年における「ばしふいつくびいなす」の運航状況(当初予定)

(2020年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
クリスマス熱海花火・駿河クルーズ	12月5日	大阪	清水	大阪	12月7日	2	3	
クリスマス門司クルーズ	12月8日	神戸	門司	神戸	12月11日	3	4	
クリスマスクルーズ 大阪	12月12日	大阪		大阪	12月13日	1	2	
クリスマスクルーズ 神戸	12月14日	神戸		神戸	12月15日	1	2	
クリスマスクルーズ 名古屋	12月16日	名古屋		名古屋	12月17日	1	2	
クリスマス駿河湾クルーズI	12月18日	横浜		横浜	12月20日	2	3	
クリスマス四日市きらきらクルーズ	12月22日	横浜	四日市	横浜	12月24日	2	3	
クリスマス駿河湾クルーズII	12月25日	東京		東京	12月27日	2	3	
びいなしニューイヤークルーズ	12月30日	神戸	宮崎	神戸	1月2日	3	4	

(2021年)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
新春 伊勢四日市・南紀 新宮クルーズ	1月4日	横浜	四日市/新宮	横浜	1月7日	3	4	
新春 別府 瀬戸内海クルーズ	1月9日	神戸	別府	神戸	1月11日	2	3	
新春 薩摩 瀬戸内海クルーズ	1月15日	大阪	鹿児島	大阪	1月18日	3	4	
新春 日南 瀬戸内海クルーズ	1月19日	神戸	油津	神戸	1月21日	2	3	
熱海花火 南房総クルーズ	1月22日	名古屋	館山	名古屋	1月24日	2	3	
新春 伊勢 四日市 きらきらクルーズ	1月25日	東京	四日市	東京	1月27日	2	3	
讃岐 高松・紀州 日高クルーズ	1月28日	横浜	高松/日高	横浜	1月31日	3	4	
洋上の楽園クルーズ ～JAZZ & FRENCH Nights～	2月1日	横浜	蒲郡	横浜	2月3日	2	3	○

表4 2020年下期から2021年における「ばしふいつくびいなす」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
早春の南紀クルーズ	2月4日	東京	新宮	東京	2月6日	2	3	○
紀州 日高・讃岐 高松クルーズ	2月7日	名古屋	日高/高松	名古屋	2月10日	3	4	○
土佐 高知・長州 下関クルーズ	2月11日	神戸	高知/下関	神戸	2月14日	3	4	○
伊予 松山・湯けむり別府クルーズ	2月18日	神戸	松山/別府	神戸	2月21日	3	4	○
早春の日南 あしずりクルーズ	2月22日	大阪	油津/あしずり	大阪	2月25日	3	4	○
早春の駿河クルーズ	2月26日	大阪	清水	大阪	2月28日	2	3	○
春先取り 南房総・三河クルーズ	3月1日	大阪	蒲郡/館山	大阪	3月4日	3	4	○
春先取り 伊勢 四日市・三河クルーズ	3月6日	横浜	蒲郡/四日市	横浜	3月9日	3	4	○
春の南紀クルーズ	3月10日	横浜	新宮	横浜	3月12日	2	3	○
鳥島・嬬婦岩・伊豆諸島クルーズ	3月13日	横浜		横浜	3月15日	2	3	○
嬬婦岩・鳥島クルーズ	3月16日	名古屋		名古屋	3月18日	2	3	○
春の瀬戸内・あしずりクルーズ	3月19日	名古屋	尾道糸崎/あしずり	名古屋	3月22日	3	4	○
春の東北 三陸クルーズ ～大船渡・宮古～	3月23日	横浜	大船渡/宮古	横浜	3月26日	3	4	○
鳥島・嬬婦岩・伊豆諸島クルーズ	4月28日	横浜		横浜	4月30日	2	3	○
GW 三陸・常陸クルーズ	5月1日	横浜	石巻/宮古/大洗	横浜	5月5日	4	5	○
あしずり・瀬戸内クルーズ	5月6日	名古屋	あしずり/尾道糸崎	名古屋	5月9日	3	4	○
日南・あしずりクルーズ	5月10日	神戸	あしずり/日南	神戸	5月13日	3	4	○
春の日本一周クルーズ	5月14日	神戸	田子の浦/釧路/函館/酒田/金沢/日向	神戸	5月23日	9	10	○
初夏の九州一周クルーズ	5月24日	大阪	日南/八代/佐世保/別府	大阪	5月30日	6	7	○
九州周遊・瀬戸内海クルーズ	6月4日	名古屋	日向/鹿児島/佐世保	名古屋	6月9日	5	6	○
三陸リアス海岸クルーズ～大船渡・久慈・宮古～	6月10日	横浜	大船渡/久慈/宮古	横浜	6月14日	4	5	○
日本一周探訪クルーズ	6月15日	横浜	白老/秋田船川/富山新港/門司/尾道糸崎	横浜	6月24日	9	10	○
九州・瀬戸内・紀州クルーズ	6月25日	横浜	日向/下関/尾道糸崎/日高	横浜	7月1日	6	7	○
夏の南房総クルーズ	7月2日	名古屋	館山	名古屋	7月4日	2	3	○
東北 三陸クルーズ～石巻・宮古・大船渡～	7月5日	神戸	石巻/宮古/大船渡	神戸	7月11日	6	7	○
夏の宮崎クルーズ～クラシックの夕べ～	7月12日	大阪	宮崎	大阪	7月14日	2	3	○
大阪発 世界自然遺産・屋久島 高知クルーズ	7月15日	大阪	高知/屋久島	大阪	7月18日	3	4	○
広島発 世界自然遺産・屋久島 五島クルーズ	7月19日	広島	屋久島/五島(福江)	広島	7月22日	3	4	○
門司発 夏休み 世界自然遺産・屋久島 あしずりクルーズ	7月24日	門司	あしずり/屋久島	門司	7月27日	3	4	○
夏の佐渡島クルーズ	7月30日	京都舞鶴	佐渡島	京都舞鶴	8月1日	2	3	
竿燈・ねぶた東北二大祭りクルーズ	8月2日	敦賀	秋田/青森	敦賀	8月6日	4	5	□
神戸発 夏休み 世界自然遺産・屋久島 瀬戸内海クルーズ	8月8日	神戸	屋久島	神戸	8月11日	3	4	○
阿波おどりと関門海峡花火クルーズ	8月12日	名古屋	下関/徳島	名古屋	8月15日	3	4	□
熊野大花火と南紀クルーズ	8月16日	横浜	新宮	横浜	8月19日	3	4	□
熱海花火 紀州・駿河クルーズ	8月20日	横浜	日高/清水	横浜	8月23日	3	4	□
夏の夜空を彩る熱海花火・駿河クルーズ	8月26日	大阪	清水	大阪	8月29日	3	4	○
世界自然遺産 屋久島・土佐 宿毛クルーズ	8月30日	大阪	宿毛/屋久島	大阪	9月2日	3	4	○
神秘の里 高千穂峡と宮崎 日向クルーズ	9月3日	神戸	日向(細島)	神戸	9月5日	2	3	○
ぐるっと 門司・境港・金沢クルーズ	9月6日	神戸	門司/境港	金沢	9月9日	3	4	
秋の佐渡島・秋田クルーズ	9月10日	金沢	秋田/佐渡島(小木)	金沢	9月13日	3	4	
秋の京都舞鶴クルーズ	9月14日	富山新港	京都舞鶴	富山新港	9月16日	2	3	
秋の休日 五島列島 隠岐諸島・瀬戸内海クルーズ	9月17日	京都舞鶴	五島(瀬戸内海)	神戸	9月20日	3	4	
秋の世界自然遺産 屋久島・別府クルーズ	9月21日	神戸	別府/屋久島	神戸	9月24日	3	4	○
広島発 世界自然遺産 屋久島クルーズ	9月25日	広島	屋久島	広島	9月27日	2	3	○
下関発 世界自然遺産 屋久島クルーズ	9月30日	下関	屋久島	下関	10月2日	2	3	○
大阪発「秋の東北 大船渡・常陸 大洗・駿河 清水クルーズ」	10月9日	大阪	大船渡/大洗/清水	大阪	10月14日	5	6	○
横浜発「秋の北海道クルーズ ～室蘭・函館～」	10月16日	横浜	室蘭/函館	横浜	10月21日	5	6	○
横浜発「伊豆諸島周遊・清水クルーズ」	10月22日	横浜	清水	横浜	10月24日	2	3	○
横浜発「秋の南紀 新宮・伊豆諸島周遊クルーズ」	10月25日	横浜	新宮	横浜	10月27日	2	3	○
名古屋発「秋の土佐高知・瀬戸内海クルーズ」	10月29日	名古屋	高知	名古屋	11月1日	3	4	○
神戸発「伊豆諸島・駿河湾周遊クルーズ」	11月3日	神戸		神戸	11月5日	2	3	○
神戸発「四国最南端 足摺岬・四万十クルーズ」	11月6日	神戸	宿毛	神戸	11月8日	2	3	○
横浜発「秋の東北クルーズ ～大船渡・宮城石巻～」	11月10日	横浜	石巻/大船渡	横浜	11月14日	4	5	○
横浜発「The秘島クルーズ ～鳥島・嬬婦岩・伊豆諸島周遊～」	11月15日	横浜		横浜	11月17日	2	3	○
神戸発「秋の九州クルーズ ～日向・鹿児島・五島列島～」	11月19日	神戸	日向(細島)/五島(福江)/鹿児島	神戸	11月23日	4	5	○

表4 2020年下期から2021年における「ばしふいっくびいなす」の運航状況(当初予定)(つづき)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
門司発「秋深まる近畿・紀伊半島クルーズ ～世界遺産熊野詣ツアー付～」	11月25日	門司	新宮/大阪	門司	11月28日	3	4	○
大阪発「びいなすキラキラクルーズ ～佐世保・門司～」	12月1日	大阪	佐世保/門司	大阪	12月5日	4	5	○

※「中止」欄における○印は当該クルーズが中止になったことを示し、□印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再設定)ことを示す。

出所:一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

表5 2021年における「飛鳥Ⅱ」の運航状況(再設定以降)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
伊豆大島・新島遊覧クルーズ①	8月1日	横浜		横浜	8月3日	2	3	
夏休み 駿河・伊東沖クルーズ	8月6日	横浜	清水	横浜	8月8日	2	3	●
夏休み 伊豆大島・伊東沖遊覧クルーズ①	8月9日	横浜		横浜	8月11日	2	3	■
鳥羽・伊勢クルーズ①	8月13日	横浜	鳥羽	横浜	8月15日	2	3	
夏の鳥羽・高知クルーズ	8月16日	横浜	鳥羽(錨泊)/高知	横浜	8月20日	4	5	■
若大将クルーズ	8月20日	横浜		横浜	8月22日	2	3	
駿河クルーズ①	8月24日	横浜	清水	横浜	8月26日	2	3	●
鳥羽・伊勢クルーズ②	8月28日	横浜	鳥羽	横浜	8月30日	2	3	●
ひたちクルーズ①	8月31日	横浜	常陸那珂	横浜	9月2日	2	3	●
駿河クルーズ②	9月3日	横浜	清水	横浜	9月5日	2	3	●
伊豆大島・新島遊覧クルーズ②	9月6日	横浜		横浜	9月8日	2	3	●
鳥羽・伊勢クルーズ③	9月10日	横浜	鳥羽	横浜	9月12日	2	3	●
駿河クルーズ③	9月18日	横浜	清水	横浜	9月20日	2	3	●
伊豆大島・新島遊覧クルーズ③	9月21日	横浜		横浜	9月23日	2	3	●
ひたちクルーズ②	9月24日	横浜	常陸那珂	横浜	9月26日	2	3	●
鳥羽・伊勢クルーズ④	9月28日	横浜	鳥羽	横浜	9月30日	2	3	●
駿河クルーズ④	10月1日	横浜	清水	横浜	10月3日	2	3	●
ひたちクルーズ③	10月3日	横浜	常陸那珂	横浜	10月5日	2	3	●
横浜発 秋彩駿河クルーズ	10月6日	横浜	清水	横浜	10月8日	2	3	●
神戸発 神戸発着 秋の瀬戸内航行 土佐クルーズ	10月19日	神戸	高知	神戸	10月22日	3	4	
神戸発 神戸発着 秋の日南ウィークエンドクルーズ	10月23日	神戸	油津(日南)	神戸	10月25日	2	3	
横浜発 30周年アニバーサリークルーズ 3days	10月27日	横浜		横浜	10月29日	2	3	
横浜発 30周年アニバーサリーウィークエンドクルーズ	10月29日	横浜	清水	横浜	11月1日	3	4	
夏休み 伊豆大島・伊東沖遊覧クルーズ①	8月9日	横浜		横浜	8月11日	2	3	
夏休み 伊豆大島・伊東沖遊覧クルーズ②	8月16日	横浜		横浜	8月18日	2	3	◆
夏休み 伊豆大島・伊東沖遊覧クルーズ②	8月16日	横浜		横浜	8月18日	2	3	

※「中止」欄における●印は当該クルーズが中止になったことを示し、■印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再々設定)ことを示す。

また、◆印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再々々設定)ことを示す。

出所:一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

表6 2021年における「にっぽん丸」の運航状況(再設定以降)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
金沢発着 輪島クルーズ	6月4日	金沢	輪島	金沢	6月6日	2	3	●
にっぽん丸花火と熱海花火クルーズ	8月3日	東京	熱海	東京	8月6日	3	4	■
にっぽんの楽園クルーズ～志摩・熱海花火～	8月7日	横浜	浜島/熱海	横浜	8月10日	3	4	●
夏休み 伊東花火クルーズ	8月11日	東京	清水(伊東沖)	東京	8月13日	2	3	●
夏休み 熊野クルーズ	8月14日	東京	新宮(白浜沖)	東京	8月16日	2	3	
夏休み 熱海花火クルーズ	8月17日	東京	熱海	東京	8月19日	2	3	■
にっぽん丸花火・清水クルーズ	8月3日	横浜	清水	横浜	8月6日	3	4	
夏休み にっぽん丸花火・駿河湾クルーズ	8月17日	名古屋	清水	名古屋	8月19日	2	3	

※「中止」欄における●印は当該クルーズが中止になったことを示し、■印は当該クルーズが中止になった後に別のクルーズが組まれた(再々設定)ことを示す。

出所:一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

表7 2021年における「ばしふいっくびいなす」の運航状況(再設定)

クルーズ名	開始日	出発港	寄港地	到着港	終了日	泊数	日数	中止
神戸発「夏休み熱海花火 伊豆諸島周遊クルーズ」	8月4日	神戸		神戸	8月6日	2	3	●
名古屋発「夏休み 阿波徳島・紀州日高クルーズ」	8月12日	名古屋	日高(御坊)/徳島	名古屋	8月15日	3	4	
夏休み 熱海花火 南紀 伊豆諸島クルーズ	8月16日	横浜	新宮	横浜	8月19日	3	4	●
横浜発「南紀・駿河クルーズ」	8月20日	横浜	新宮/清水	横浜	8月23日	3	4	●

※「中止」欄における●印は当該クルーズが中止になったことを示す。

出所:一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」等より筆者作成

スケジュールを公表していった。これらによれば、2020年11月から12月にかけて「飛鳥II」は29、「にっぽん丸」は23、「ばしふいっくびいなす」は9のクルーズが設定された。なお、「クルーズニュース」に、この時期のクルーズ中止やスケジュール変更の記事はない。

3隻の運航日程をみると、すべて3泊以下のショートクルーズあり、「にっぽん丸」は約半数がワンナイトクルーズである。また、途中で寄港するクルーズは半数以下であり、クルージングがメインの航海が多いことがわかる。

3. 3 2021年におけるクルーズ船の運航状況

コロナ禍以前、各船のクルーズスケジュールの発表は年度を上期と下期に分け、半年単位で行われていた。しかし、2021年は短いスパンでの発表を繰り返した。この結果、2021年において当初予定されたクルーズは、「飛鳥II」が103、「にっぽん丸」が91、「ばしふいっくびいなす」が65に上った。これらのクルーズ数は、3隻ともコロナ禍以前の2019年に行ったクルーズ数よりも多い。クルーズ数が増えた要因としては、ショートクルーズが多いことに加えて、長い日程が必要とされる国際クルーズ⁶⁾がないことも考えられる。

運航実績をみると、各船とも1月中旬以降、クルーズの中止を余儀なくされている。これは1月8日に東京都をはじめとする4都県に発出され、その後に対象地域が11都府県まで拡大された2回目の新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言による影響によるものと思われるが、運航中止の理由として「最小催行人数に満たない」クルーズも多かった⁷⁾。

緊急事態宣言は、4月以降も継続的に発令されることになり、「飛鳥II」や「ばしふいっくびいなす」では「乗組員に新型コロナウイルスの陽性が確認されたため」のクルーズ中止もあり、「飛鳥II」の「ゴールデンウィーク 青森・北海道クルーズ」は催行中に新型コロナウイルス陽性者の乗船が確認され、途中で中止となった。また、「にっぽん丸」の「ゴールデンウィーク 日本一周クルーズ」は、横浜市からの要請もあって運航を中止した。

各船の運航中止はその後断続的に続き、8月には各船がクルーズスケジュールの再設定を行った。再設定された理由は、観覧を予定していた花火大会が中止されたこと等が挙げられるが、「飛鳥II」は8月から9月のクルーズを全面的に組み替えている。再設定されたクルーズは2泊が中心のショートクルーズだった。しかし、このように再設定されたクルーズも多くはその後、中止されることになる。秋以降、「飛鳥II」や「にっぽん丸」は運航を再開したが、「ばしふいっくびいなす」は運航中止が続いた。その結果、「ばしふいっくび

いなす」は2021年に当初予定した65クルーズのうち、50クルーズが中止またはスケジュール変更されることになった。

4. むすびにかえて

以上で見たように、コロナ禍において2020年秋に運航を再開した日本の外航クルーズ船は、2021年になるとクルーズの中止が相次いだ。当初予定されていたクルーズは、クルーズ数は多いものの日程の短いものが中心だった。今後は、コロナ禍がクルーズに与えた影響を、まずは以前のクルーズの運航状況や寄港地選定の点から比較し検討したい。

注

- 1) 「ワンダー・オブ・ザ・シーズ」で、総トン数は236,857トンである。
- 2) このカテゴリー分けは、海事プレス社がクルーズ船の総トン数や乗客定員、客室の広さ（最小）等を基に行っているものであり、ラグジュアリーよりもサービスが充実した「ブティック客船」も「ラグジュアリー客船」に含まれている。なお、他の文献では、スタンダードを「カジュアル」クラスと表記するものもある。
- 3) 今回の確認で収集する運航記録は、各運航船社が企画・運航するクルーズを対象とし、いわゆる「チャータークルーズ」は含めない。なお、日本船社が運航する外航クルーズ船3隻のうち、コロナ禍以降、最初に営業運航を再開したのは「にっぽん丸」で、2020年10月25日から3日間の日程で催行された「にっぽん丸チャータークルーズ 祈りの島 五島列島・福江島」であった（WEB CRUISE クルーズニュース「JR 四国とフジトラベル、にっぽん丸チャーター、GoTo など対象」(<https://www.cruise-mag.com/news/9162/> 閲覧日：2022年11月28日))。
- 4) 今回の運航記録は、クルーズ船の運航を基準にまとめた。クルーズ日程に複数のコースが設定されていても、クルーズ船の運航が同一の場合は1つのクルーズとした。
- 5) 「飛鳥II」の8月16日発「夏の高知・熊野沖クルーズ」は、熊野大花火大会中止のため「夏の鳥羽・高知クルーズ」に変更された。その後、8月から9月のクルーズ全面改定に伴い「夏休み 伊豆大島・伊東沖遊覧クルーズ②」となったが、伊東沖で観覧予定だった花火大会が主催者による協議の上で観覧中止となったため、内容を相模湾や

伊豆大島沖のクルージングに変更した。

- 6) 因みに、「飛鳥II」は2019年1月から3月にかけて32泊33日の日程で「2019年アジアグランドクルーズ」を行った。
- 7) 運航中止の理由は「クルーズニュース」の記事に拠った。

参考文献

- [1] 国土交通省ウェブサイト「国際クルーズの受入を再開します～国際クルーズ運航のためのガイドラインが策定されました～」
(https://www.mlit.go.jp/report/press/port04_hh_000368.html 閲覧日：2022年11月25日)
- [2] 明日の日本を支える観光ビジョン構想会議「明日の日本を支える観光ビジョン—世界が訪れたいくなる日本へ—」2016
- [3] 日本クルーズ客船ウェブサイト「客船事業終了のお知らせ」(<https://www.venus-cruise.co.jp/topics/detail.php?seq=278> 閲覧日：2022年11月25日)
- [4] トラベルボイス 2022年11月4日付記事「日本のクルーズ客船「ぱしふいっくびいなす」が事業終了、コロナ禍からの回復厳しく、会社は解散へ」(<https://www.travelvoice.jp/20221104-152335> 閲覧日：2022年11月25日)
- [5] 海事プレス社『クルーズ客船データブック 2022-2023』2022
- [6] 一般財団法人みなと総合研究財団クルーズ総合研究所監修『クルーズポート読本』成山堂書店, 2018
- [7] 酒井裕規・湧口清隆「外航クルーズ客船誘致活動における現状と課題」『海運経済研究』50, 31-40, 2016
- [8] 池田宗雄『船舶知識のABC (10訂版)』成山堂書店, 2019
- [9] せとうちクルーズウェブサイト「ガンツウ 航路」(<https://guntu.jp/routes/> 閲覧日：2022年11月26日)
- [10] せとうちクルーズウェブサイト「ガンツウ ウェルネス」(<https://guntu.jp/wellness/> 閲覧日：2022年11月26日)
- [11] 一般社団法人日本外航客船協会ウェブサイト「クルーズニュース」
(<https://www.jopa.or.jp/news/news.html>)

平行平板間内を流れる修正指数法則流体の解析方法

横山 友花*, ダワァ ガンバット**, 長井 弘志**, ジャンバル オダゲレル**

Analysis method for modified power law fluid flowing between parallel plates

Yuka Yokoyama*, Ganbat Davaa**, Hiroyuki Nagai**, Odgerel Jambal**

Abstract

We analyzed a non-Newtonian fluid flowing between parallel plates with one moving plate. Applying the shear stress described by the modified power-law model, the exact solutions for the momentum equation are obtained. The effects of the relative velocity of the moving plate, the flow index and friction factor are clarified.

The results in this report are obtained by creating a numerical analysis program using a physical/mathematical model and the finite-difference methods.

1. まえがき

流体は、ニュートン流体と非ニュートン流体に分類される。ニュートン流体は粘性が一定の値で変化する性質を持つ流体である。対して、非ニュートン流体は粘性が一定の値を示さずに変化する流体であり、さらに、ビンガム流体、擬塑性流体、ダイラタント流体の3種類に分類される。非ニュートン流体は様々な工業製品、日用品の原材料として利用されている。例えば、マーガリンや生クリーム、ペンキなどの塗料が非ニュートン流体に分類される。このような製品の製造過程や使用時には「流れ」現象が現れる。流れ中の流体の挙動は製造効率や、流体のもつ機能性の発現に影響するため、非ニュートン流体の流動挙動に関する知見を得ることが必要とされる [1]。

本研究では、一方が軸方向に運動する平行平板間内を流れる非ニュートン流体について調べる。この問題を詳しく調べることで、ガラス製造過程やプラスチックおよびセラミックス製造過程における熱流体問題に応用できる。非ニュートン流体の構成方程式（つまり、せん断応力とせん断速度の関係）は、修正指数法則モデル (modified power-law model) によって記述される [2]。移動平板の相対速度、および流れ指数が流体の速度や摩擦係数に及ぼす影響を明らかにし、非ニュートン流体を使用した製品の製造過程における流体問題に活用する。本稿では、物理・数学モデルと、差分法を用いた数値解析プログラムの作成について報告する。

主要記号

D_h	水圧直径
f	摩擦係数
L	平行平板間の距離
m	粘稠性定数
n	流れ指数
Re_M	修正されたレイノルズ数
u	流体の軸方向速度
u^*	無次元速度 $\equiv u/u_m$
u_m	流体の平均速度
U	移動平板の軸方向速度
U^*	移動平板の相対速度 $\equiv U/u_m$
y	固定平板に垂直な座標
y^*	無次元座標 $\equiv y/D_h$
z	軸方向座標

ギリシャ文字

β	無次元せん断速度パラメーター
η_a	見かけの粘度
η_a^*	無次元見かけ粘度 $\equiv \eta_a/\eta^*$
η_0	せん断速度ゼロでの粘度
η^*	参考粘度
ρ	密度
τ	せん断応力

添字

0	固定平板
L	移動平板

*弓削商船高等専門学校 専攻科

**弓削商船高等専門学校 電子機械工学科

2. 物理モデル

図 1 に示す物理モデルを考える。流体解析に際して次の仮定を設定する [3]。

- 流れは非圧縮・定常層流で流体力学的に十分発達している。
- 流体は非ニュートン流体で、せん断応力は修正指数法則 (modified power-law model) で表され、物性値は一定とする。
- 一方の平行平板が軸方向に速度一定で運動している。

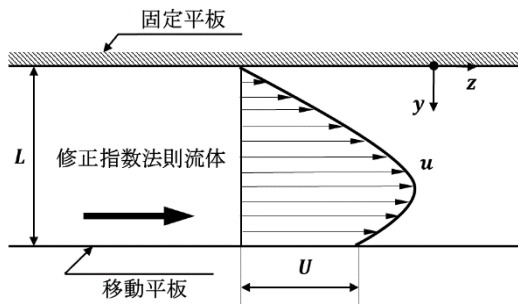


図 1 物理モデル

3. 数学モデル

流体の運動方程式とその境界条件は上記の仮定により次式ようになる。

運動方程式：

$$\frac{d\tau}{dy} = \frac{dP}{dz} \quad (1)$$

境界条件：

$$\begin{cases} u = 0 & \text{at } y = 0 \\ u = U & \text{at } y = L \end{cases} \quad (2)$$

ここで、式(1)の左辺のせん断応力 τ と見かけ粘度 η_a は次式で定義される。

$$\tau = \eta_a \frac{du}{dy} \quad (3)$$

$$\eta_a = \frac{\eta_0}{1 + \frac{\eta_0}{m} \left| \frac{du}{dy} \right|^{1-n}} \quad \text{for } n < 1 \quad (4)$$

$$\eta_a = \eta_0 \left(1 + \frac{m}{\eta_0} \left| \frac{du}{dy} \right|^{n-1} \right) \quad \text{for } n > 1 \quad (5)$$

平均流速 U_m は次式で定義される。

$$U_m \equiv \frac{1}{L} \int_0^L u \, dy \quad (6)$$

よって、運動方程式とその境界条件は次式となる。

運動方程式：

$$\frac{d}{dy^*} \left(\eta_a^* \frac{du^*}{dy^*} \right) = -2f \cdot Re_M \quad (7)$$

境界条件：

$$\begin{cases} u^* = 0 & \text{at } y^* = 0 \\ u^* = U^* & \text{at } y^* = \frac{1}{2} \end{cases} \quad (8)$$

摩擦係数 f と修正されたレイノルズ数 Re_M は、それぞれ次式で定義される。

$$f \equiv \frac{D_h}{2\rho u_m^2} \left(-\frac{dP}{dz} \right) \quad (9)$$

$$Re_M \equiv \frac{\rho u_m D_h}{\eta^*} \quad (10)$$

無次元見かけ粘度 η_a^* と参考粘度 η^* 、無次元せん断速度パラメーター β はそれぞれ次式で定義される。

$$\eta_a^* \equiv \frac{\eta_a}{\eta^*} = \frac{1 + \beta}{1 + \beta \left| \frac{du^*}{dy^*} \right|^{1-n}} \quad \text{for } n < 1 \quad (11)$$

$$\eta_a^* \equiv \frac{\eta_a}{\eta^*} = \frac{\beta + \left| \frac{du^*}{dy^*} \right|^{n-1}}{\beta + 1} \quad \text{for } n > 1 \quad (12)$$

$$\eta^* = \frac{\eta_0}{1 + \beta} \quad \text{for } n < 1 \quad (13)$$

$$\eta^* = \eta_0 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \text{for } n > 1 \quad (14)$$

$$\beta = \frac{\eta_0}{m} \left(\frac{u_m}{D_h} \right)^{1-n} \quad (15)$$

4. 解析

移動平板の相対速度、および流れ指数が流体の速度や摩擦係数に及ぼす影響を明らかにするため、以下の順番でこの研究を進める。

- 1) 差分法を用いて式(7)を離散化する。
- 2) プログラミング言語“Python”を用いて、離散化した方程式を行列で解くプログラムを作成する。

- 3) 作成したプログラムを用いて以下のことを解析する.
 ☆ 速度分布
 ☆ fRe_M (摩擦係数) (修正されたレイノルズ数)
- 4) 解析で得たデータを利用して速度分布, 摩擦係数に関するグラフを作成する.

数値解析は $m = 0$ から $m = M$ の間に行う. 図 2 に離散化の概略図を示す.

4. 1 差分法による離散化

式(7)は以下の積の微分公式(16)より式(17)となる.

積の微分公式:

$$\{f(x)g(x)\}' = f'(x)g(x) + f(x)g'(x) \quad (16)$$

$$\eta_a^* \frac{d^2 u^*}{dy^{*2}} + \frac{d\eta_a^*}{dy^*} \cdot \frac{du^*}{dy^*} = -2fRe_M \quad (17)$$

ここで, 平行平板間の距離を Δy^* 幅で M 区分に分割し, 速度の位置を m とすると, 各項はそれぞれ次式で表される. よって, 式(17)は次式となる.

$$\frac{d^2 u^*}{dy^{*2}} \approx \frac{u_{m+1}^* - 2u_m^* + u_{m-1}^*}{\Delta y^{*2}} \quad (18)$$

$$\frac{d\eta_{a_m}^*}{dy^*} \approx \frac{\eta_{a_{m+1}}^* - \eta_{a_{m-1}}^*}{2\Delta y^*} \quad (19)$$

$$\frac{du^*}{dy^*} \approx \frac{u_{m+1}^* - u_{m-1}^*}{2\Delta y^*} \quad (20)$$

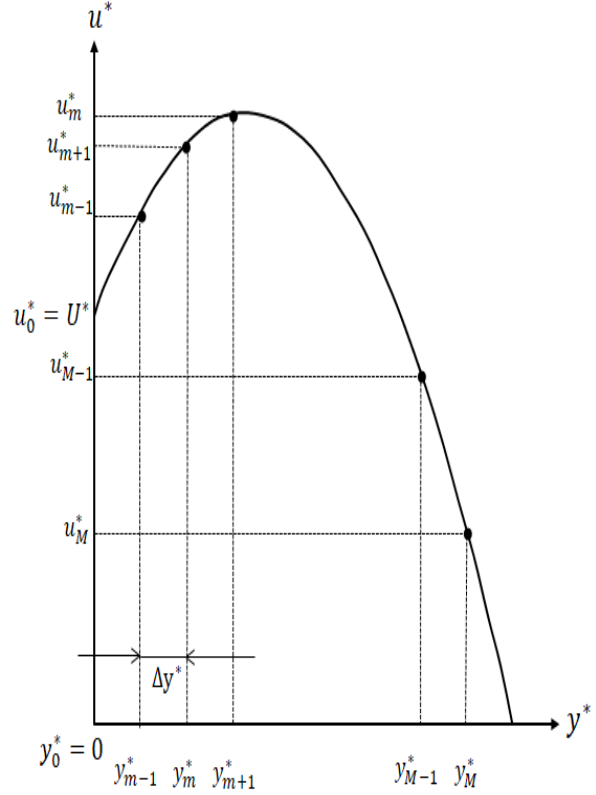


図 2 離散化の概略図

$$\eta_{a_m}^* \left[\frac{u_{m+1}^* - 2u_m^* + u_{m-1}^*}{\Delta y^{*2}} \right] + \left[\frac{\eta_{a_{m+1}}^* - \eta_{a_{m-1}}^*}{2\Delta y^*} \right] \left[\frac{u_{m+1}^* - u_{m-1}^*}{2\Delta y^*} \right] = -2f \cdot Re_M \quad (21)$$

ここで, $\varphi_m = \frac{\eta_{a_{m+1}}^* - \eta_{a_{m-1}}^*}{4}$ とすると, 式(21)は次式となる.

$$\frac{\eta_{a_m}^* u_{m+1}^* - 2\eta_{a_m}^* u_m^* + \eta_{a_m}^* u_{m-1}^*}{\Delta y^{*2}} + \frac{\varphi_m u_{m+1}^* - \varphi_m u_{m-1}^*}{\Delta y^{*2}} = -2fRe_M \quad (22)$$

さらに, 式(22)を整理すると次式となる.

$$(\eta_{a_m}^* - \varphi_m)u_{m-1}^* - 2\eta_{a_m}^* u_m^* + (\eta_{a_m}^* + \varphi_m)u_{m+1}^* = -2f \cdot Re_M \Delta y^{*2} \quad (23)$$

また, 式(23)は境界条件式(24)を用いて行列で表現すると式(25)になる.

境界条件:

$$\begin{cases} u_0^* = U^* & \text{at } m = 0 \\ u_M^* = 0 & \text{at } m = M \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 \eta_{a_1}^* - \varphi_1 & -2\eta_{a_1}^* & \eta_{a_1}^* + \varphi_1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 0 & \eta_{a_2}^* - \varphi_2 & -2\eta_{a_2}^* & \eta_{a_2}^* + \varphi_2 & 0 & \dots & \dots & 0 \\
 0 & 0 & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & 0 & \eta_{a_m}^* - \varphi_m & -2\eta_{a_m}^* & \eta_{a_m}^* + \varphi_m & 0 & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 & \eta_{a_{M-1}}^* - \varphi_{M-1} & -2\eta_{a_{M-1}}^* & 0 \\
 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 u_0^* \\
 u_1^* \\
 u_2^* \\
 \vdots \\
 u_m^* \\
 \vdots \\
 u_{M-1}^* \\
 u_M^*
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 U^* \\
 -2fRe_M \Delta y^{*2} \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 \vdots \\
 0
 \end{bmatrix}
 \tag{25}$$

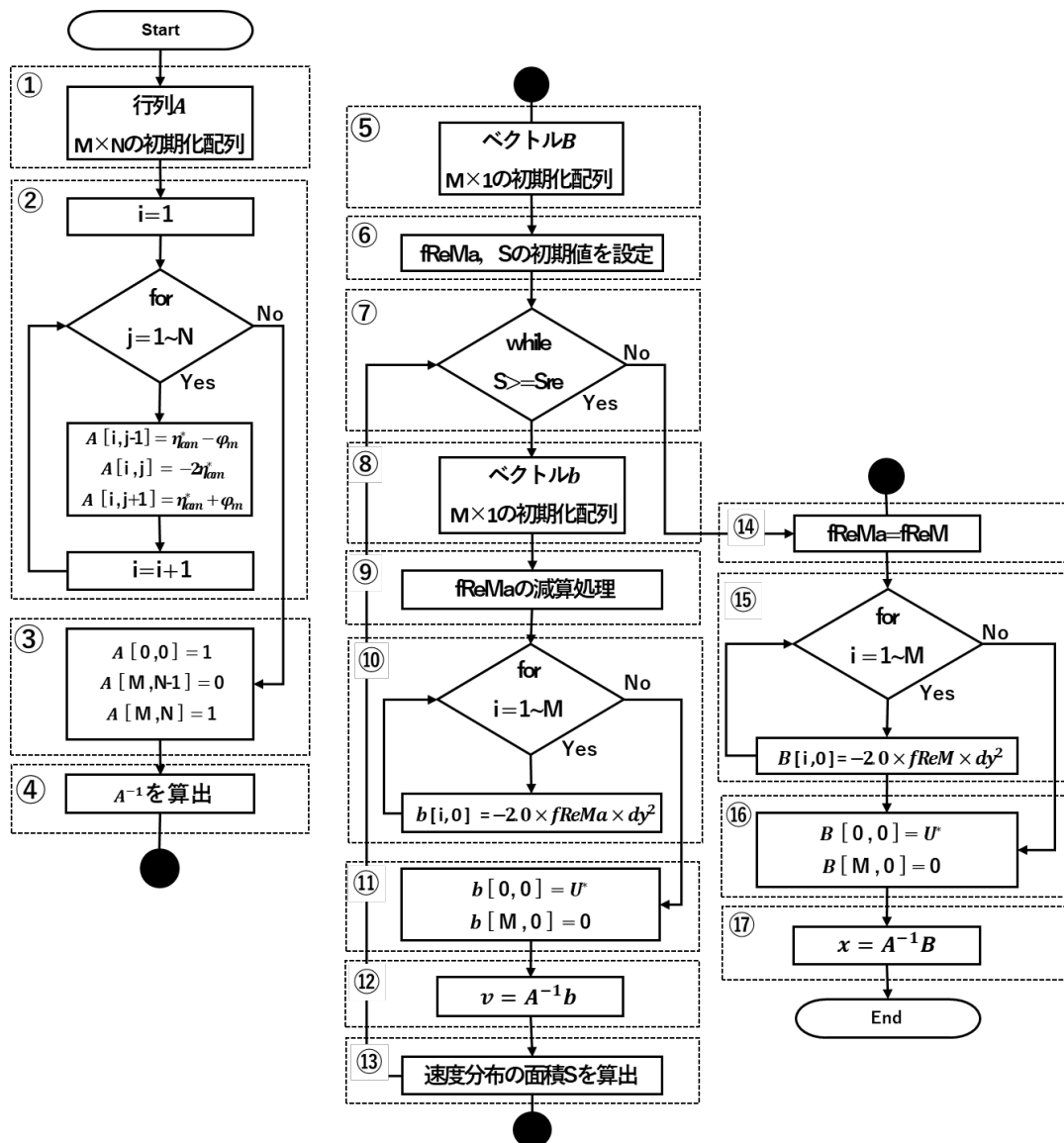


図3 速度分布算出のフローチャート

	0	1	2	3	...	N-1	N
0	[0, 0]	[0, 1]	[0, 2]	[0, 3]	...	[0, N-1]	[0, N]
1	[1, 0]	[1, 1]	[1, 2]	[1, 3]	...	[1, N-1]	[1, N]
2	[2, 0]	[2, 1]	[2, 2]	[2, 3]	...	[2, N-1]	[2, N]
3	[3, 0]	[3, 1]	[3, 2]	[3, 3]	...	[3, N-1]	[3, N]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
M-1	[M-1, 0]	[M-1, 1]	[M-1, 2]	[M-1, 3]	...	[M-1, N-1]	[M-1, N]
M	[M, 0]	[M, 1]	[M, 2]	[M, 3]	...	[M, N-1]	[M, N]

図4 配列の要素番号

4. 2 プログラムの作成

式(25)について、右辺の係数行列を A 、変数ベクトルを x 、左辺の定数ベクトルを B とおくと、式(25)は次式で表される。

$$Ax = B \quad (26)$$

また、 x 行列を算出するには式(26)に行列 A の逆行列 A^{-1} をかければ良い。式(27)を参照。

$$x = A^{-1}B \quad (27)$$

つまり、速度分布 (ベクトル x) を算出するには、行列 A 、逆行列 A^{-1} 、ベクトル B を作成する必要がある。ここで、速度分布算出のフローチャートを図3に示す。行列の演算には、Python の学術計算ライブラリである NumPy を使用する。また、下記にその詳細について説明する。

- ① 行列 A について、 $M \times N$ (行数 M 、列数 N) の初期化配列を作成する。初期化配列は、すべての要素が 0 の配列である。NumPy ライブラリの `zeros` 関数を使用し、以下のように記述する。

配列名 = `np.zeros` (行数, 列数)

初期化配列は、要素番号を指定し、値を代入する際に有用である。

- ② 行列 A の要素番号を指定し、値を代入していく。図4に配列の要素番号を示す。要素番号を指定するには、配列名 [行番号, 列番号] と記述する。例えば、式(25)の行列 A では、2行1列目は $A[1, 0]$ となり、2行2列目は $A[1, 1]$ 、2行3列目は $A[1, 2]$ となる。行番号の変数を i 、列番号の変数を j とし、初期値をそれぞれ 1 とする。変数 j が $N-1$ になるまで処理を繰り返し、 $A[1, 0] \sim A[M-1, N]$ まで値を代入していく。変数 i と変数 j に 1 を加算しながら処理を繰り返すことで、先に行った処理から 1 行下、1 列右の要素番号が指定される。
- ③ 式(25)より、 $A[0, 0]$ と $A[M, N]$ に 1、 $A[M-1, N]$ に 0 を代入する。

- ④ 逆行列 A^{-1} を算出する。NumPy ライブラリの `linalg.inv` 関数を使用し、以下のように記述する。
逆行列 = `np.linalg.inv`(行列)

- ⑤ ①と同様に、ベクトル B について、 $M \times 1$ (行数 M 、列数 1) の初期化配列を作成する。

ここで、式(25)より、ベクトル B を作成するには fRe_M の値を求める必要がある。⑥～⑩は fRe_M を算出する処理である。 fRe_M を算出する過程で、速度分布を算出する。この速度分布、すなわち変数ベクトルをベクトル v とし、⑩で算出する速度分布 (ベクトル x) と区別する。また、このときの定数ベクトルをベクトル b とすると、ベクトル v は次式で算出できる。

$$v = A^{-1}b$$

- ⑥ 変数 `fReMa` と変数 S の初期値を設定する。`fReMa` は繰り返し処理の過程における fRe_M の値を代入する変数である。 S は、`fReMa` で算出される速度分布の面積を代入する変数である (図3を参照)。

- ⑦ 繰り返しの条件を $S \geq Sre$ と定める。変数 Sre は fRe^* 値で計算される速度分布の面積を代入する変数である。 fRe^* 値は指数法則モデル (power-law model) によって得られる摩擦係数 f と一般化されたレイノルズ数 Re^* の積である [3]。

ここで、 $n < 1$ の場合、 $\beta \rightarrow 0$ では $\eta_a^* = 1$ となり、ニュートン流体に相当する。 $\beta \rightarrow \infty$ では $\eta_a = \eta^* \eta_a^* = m \left| \frac{du}{dy} \right|^{n-1}$ となり、指数法則流体に相当する。また、 $n > 1$ の場合、 $\beta \rightarrow 0$ では $\eta_a = \eta^* \eta_a^* = m \left| \frac{du}{dy} \right|^{n-1}$ となり、指数法則流体に相当する。 $\beta \rightarrow \infty$ では $\eta_a^* = 1$ となり、ニュートン流体に相当する。つまり、 $\beta \rightarrow 0$ と $\beta \rightarrow \infty$ における fRe_M 値は、それぞれニュートン流体と指数法則流体の fRe^* 値であることがわかる。よって、 fRe^* 値で計算される速度分布の面積 Sre と

fReMa で算出される速度分布の面積 S を比較し、 S の値が S_{re} の値以下になるときの fReMa を算出すれば、 fRe_M が得られる。

- ⑧ 繰り返しの条件を満たす場合、⑤と同様に、ベクトル b について $M \times 1$ (行数 M , 列数 1) の初期化配列を作成する。
- ⑨ fReMa に対して減算を行う。fReMa から徐々に値を引いていき、 S と S_{re} の値を近づけていく。
- ⑩ ②と同様に、配列の要素番号を指定し、ベクトル b に値を代入していく。
- ⑪ 式(25)より、 $b[0, 0]$ に U^* , $b[M, 0]$ に 0 を代入する。
- ⑫ ベクトル v を算出するために、 A^{-1} 行列と b 行列の乗算を行う。NumPy ライブラリの dot 関数を使用し、以下のように記述する。
配列名=np.dot(配列名, 配列名)
- ⑬ 速度分布の面積 S を算出する。図 1 の物理モデルより、速度分布は放物線になる。この放物線を Δy^* 幅で M 区分に分割し、各区間を台形で近似した値を足し合わせていく。
- ⑭ 繰り返しの条件を満たさない場合、fReMa を fReM とする。
- ⑮ ⑩と同様に、配列の要素番号を指定し、ベクトル B に値を代入していく。
- ⑯ 式(25)より、 $B[0, 0]$ に U^* , $B[M, 0]$ に 0 を代入する。
- ⑰ ⑫と同様にして、ベクトル x を算出する。

5. 結言

本稿では、一方が軸方向に運動する平行平板間内を流れる非ニュートン流体について、物理・数学モデルと、差分法を用いた数値解析プログラムの作成について報告した。今後は、作成したプログラムを用いて速度分布と摩擦係数×修正されたレイノルズ数 ($f \cdot Re_M$) について解析を行う。

参考文献

- [1] 山本剛宏, “非ニュートン流体の数値流動解析—流体内部構造からのアプローチ—”, 流体工学部部門: 流れの読み物, https://www.jsme-fed.org/newsletters/2005_9/no5.htm, (2022/10/20).
- [2] T. F. Irvine and J. Karni, Non-Newtonian Fluid Flow and Heat Transfer, in S. Kakac, R. K. Shah and W. Aung (eds.), Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer, 20.6-20.9, Chapter 20, John Wiley & Sons, Inc. (1987)
- [3] Davaa G., Shigechi T. and Satoru M., Plane Couette-Poiseuille Flow of Power-Law Non-Newtonian Fluids, *Reports of the Faculty of Engineering*, Nagasaki University, pp.29-36, Vol.30, No.54 (1999)

接触型 3 次元位置計測器へのキャリブレーションに 対する低ランク近似の適用

前田 弘文*

Application of low-rank approximation to calibration of contact-type three-dimensional position measuring instrument

Hirofumi Maeda*

Abstract

In recent years, inspections using stand-alone type piping inspection robots have been actively performed. Currently, we are in the stage of verifying our originally developed pipe inspection robot, and we have developed a three-dimensional position measuring instrument for that purpose, but there is still an error in the absolute positioning accuracy. In this paper, in order to solve the error problem of the measuring instrument, we describe a method of applying the calibration method used for manipulators to the measuring instrument. In it, we describe the mechanism model and its calibration parameters, show how to remove redundant parameters, and how to estimate the parameters by Newton's method.

1. 緒 言

日本では 1965 年以降, 下水道整備が行われてきたが, 管理施設の増加に伴い, 長期使用施設の老朽化が問題視されている. そんな中, 下水管渠の標準的耐用年数は 50 年とされており, 管渠布設後 30 年が経過すると道路が陥没する可能性が高まることから, 排水管・下水管の継続的な維持管理が重要とされている. しかし, 管内検査は範囲が広大で, 人が行うには過酷な作業であることから, ロボットを使用した検査が活発に行われるようになってきた¹⁾.

ロボットを用いた代表的な検査は, オペレーション用の運搬車をマンホール付近に設置し, ロボット本体である自走車のみを配管内に投入する有線遠隔制御方式である.

この方式は, 駆動に必要な最低限の機能のみを自走車に搭載することで本体重量を軽量化することができる. また, 有線を介してオペレータによる地上からの制御・監視が可能で, 不測の事態に即対応できる利点もある. 一方, 運搬車の設置場所の確保や, 検査時における広範囲侵入規制のための人員確保が必要で, 多くの労力やコストがかかる.

そこで近年, 安価で持ち運びが容易なスタンドアロンタイプの配管検査用ロボットが主流となって

きた. しかし, スタンドアロンタイプはまだまだ発展途上で, 日本国内で十分な研究開発が行われていない. また日本国内では, 最小で直径 150 mm までの配管検査が求められるのに対し, 海外では標準的な配管直径が 200 mm 以上であることから, それらの海外製品を流用することもできない^{2)~4)}. このような状況下で, 我々は小型で持ち運びが容易な自律型配管検査用ロボットの実用化を目指して, 独自に研究開発を進めてきた^{5)~9)}.

自律型配管検査用ロボットの実用化を目指す上で, ロボット本体が管内で転倒しない機能が必要となる. 管内は, 菅の繋ぎ目の段差や陥没, ヘドロによるスリップなど, 外乱による転倒が容易に発生する環境である. これがケーブルを介する有線型の遠隔制御方式であれば, 先で述べたようにモニターを介してオペレータが常にロボットを操縦しているため, 予期せぬ事態に瞬時に対応することができる. これに対し, スタンドアロンタイプでは, 管内検査機能とは別に, オペレータの代わりに管内転倒を回避するための防止策をロボット本体に組み込まなければならない. 従来の配管検査用ロボットは, この転倒防止策として, 配管の直径に対してロボットやタイヤの大きさを調整するハードウェア的アプローチが多くを占めていた. 我々は, この対策法とは真逆のソフトウ

エア的なアプローチとして、高度な直進制御による転倒防止を模索している^{[10]~[11]}。

現在は、直進制御を実現するために必要な自己位置推定を検証する段階にあり、そのための機器が必要となっている。しかし、湾曲している管内でのロボットの位置・姿勢を計測するためには、特殊な 3 次元位置計測器が必要となる。そこで我々は、配管検査用ロボットのための 3 次元位置計測器を開発した^{[12]~[18]}。本計測器は高精度にするため、接触型を採用している。接触型は対象物に直接接触するため、高精度で信頼性が高い反面、機器の構造が複雑化しやすく、部品点数が多くなる。そのため、各回転軸間で発生する組み付けや加工、エンコーダのオフセットなどによる誤差が累積し、絶対位置決め精度に大きな誤差を生じさせる。

そこで本論文では、この誤差問題を解決するために、マニピュレータに用いられるキャリブレーション手法を接触型 3 次元位置計測器に適用するための低ランク近似を提案する。また、計測器の構造についても述べる。

2. 接触型 3 次元位置計測器

配管検査用ロボットの検証は、図 1 に示すようにハーフカットした配管を設置し、接触型 3 次元位置計測器を配管の真上から吊り下げることで行う。以下に計測の構造およびシステム構成を示す。



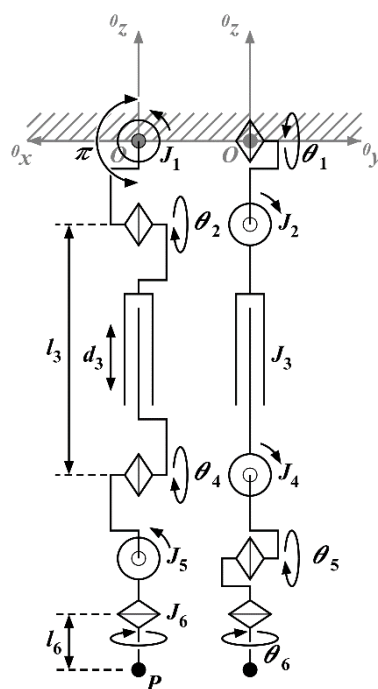
図 1 配管検査用ロボットの位置・姿勢計測

2. 1 計測器の構造

本計測器は、図 2 に示すように 6 自由度を有し、各関節にはエンコーダが取り付けられている。各関節は、図 3 で示すように取り付けフレームから順に $J_1 \sim J_6$ とする。 J_3 は並進関節で、それ以外は回転関節である。また、計測器の下には精度検証のための 6 軸ステージを取り付けている(図 4)。



図 2 接触型 3 次元位置計測器の外観



- J_1-J_6 : the position of each joint
 - P : the position of the end effector
 - $\theta_1, \theta_2, \theta_4-\theta_6$: θ_1 to θ_6 excluding θ_3 each indicates the rotation angles for J_1 to J_6 excluding J_3 [rad]
 - d_3 : d_3 indicates the displacement for J_3 [m]
 - l_3 : l_3 indicates the initial link length for J_3 [m]
 - l_6 : link length of the end effector [m]
- ※ The joint pair of J_1 and J_2 shares the same axis, so do the another joint pair of J_4, J_5 and J_6 , which leads to there is no link length between each joint pair.

図 3 接触型 3 次元位置計測器のリンク構造



図 4 精度検証用 6 軸ステージ

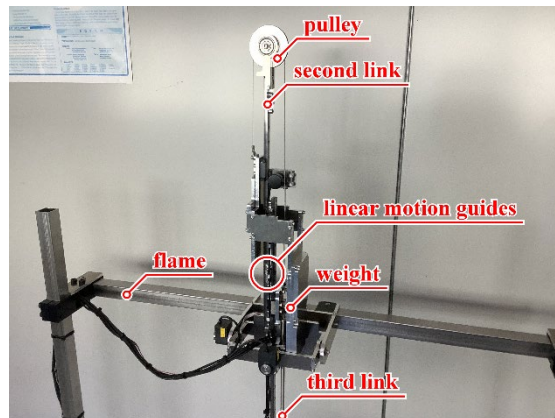


図 5 接触型 3 次元位置計測器の取り付け部および滑車部

配管検査用ロボットは、計測器の接続部から、“ロボットにのしかかる計測器の自重”と“計測器とロボットの接続部周りの慣性モーメント”の 2 つの外乱の影響を受ける。配管検査用ロボットの検証では、ロボットの走行に影響を及ぼさない、つまりロボットの発生トルクより十分に小さい程度まで、外乱を低減することができればよい。

そこで、“ロボットにのしかかる計測器の自重”に対しては、第 2 リンクに滑車を取り付けることで外乱を限りなく 0 にする (図 5)。滑車には、計測器の第 3 リンクから先端までと、その質量と同じ錘がワイヤーを介して吊り下げられる。これにより、全ての自重が常に計測器の取り付けフレームにのしかかるため、配管検査用ロボットには負荷がかからない。

次に、“計測器とロボットの接続部周りの慣性モーメント”については、各関節周りの回転軸と物体の重心軸を一致させることで、計測器とロボットの接続部周りの慣性モーメントを最小にする。これにより、物体の重心を通る軸を中心に回転する際の各関節の慣性モーメントのみがロボットへの外乱として残るが、計測器自体が軽量であることから負荷が小さく、無視できる。

2. 2 システム構成

本計測器は、計測器の各関節に取り付けられたエンコーダのセンサ値から計測器先端に取り付けられたロボットの位置・姿勢を算出する (図 6)。エンコーダの取得には、株式会社アルファプロジェクト社製の STK-7125 を用いる (図 7)。エンコーダには、武藤工業株式会社の UN-2000 と DX-025 を使用し、オープンコレクタによる STK-7125 との接続の上、位相計数モードによって A 相と B 相の差分から回転角度を算出する。その後、STK-7125 で得られたエンコーダ値は、BLE を介して iPad へと送信される。最後に、iPad 上でエンコーダ値から各関節角を導出・集積し、そのデータを元にロボットの位置・姿勢を算出する (図 8)。

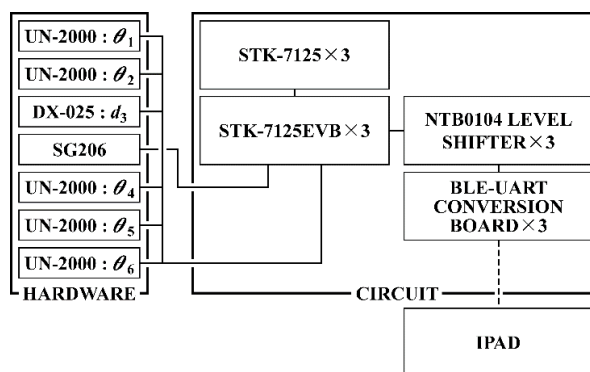


図 6 システムの概略図

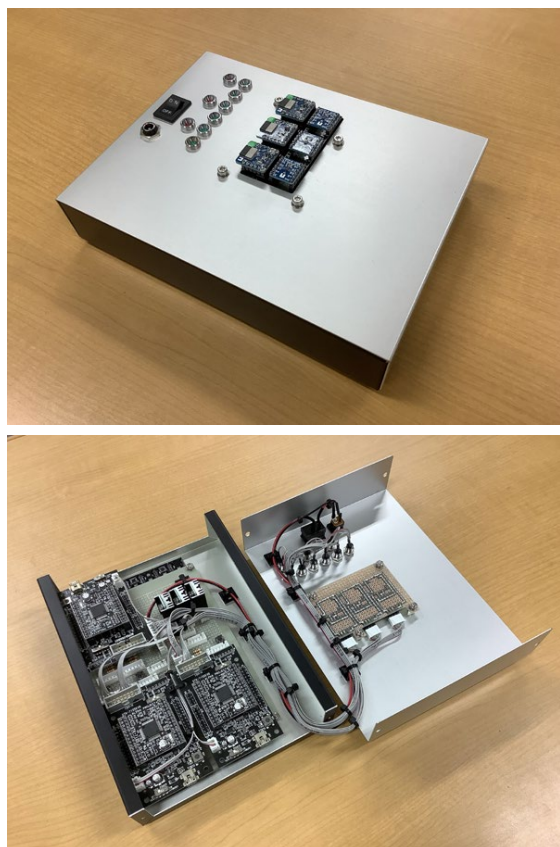


図 7 接触型 3 次元位置計測器の制御回路部

すべての回転軸にそれぞれ 6 自由度の一般的な座標系を設定する。隣接座標系間の各軸における並進と回転がキャリブレーションの対象パラメータとなることから、それぞれの隣接座標系間において位置と姿勢の 6 個のパラメータによる変換式が得られる。つまり、本計測器では 6 自由度を有することから、36 個のパラメータによって機構モデルが構成される。

ここで、図 3 の $\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4 \sim \theta_6$ と各エンコーダのオフセット値について考える。各関節におけるエンコーダ値 E_i と回転角度 θ_i の関係は式 (1)、関節 J_3 におけるエンコーダ値 E_3 と変位 d_3 の関係は式 (2) となる。

$$E_i = C_i \cdot \theta_i + O_i \quad (i = 1, 2, 4, 5, 6) \quad (1)$$

$$E_3 = C_3 \cdot d_3 + O_3 \quad (2)$$

ここで、 C_i は既知の比例定数、 O_i はエンコーダのオフセット値を表す。また、 E_i ($i = 1 \sim 6$) が検出可能であれば、 O_i をキャリブレーションの対象パラメータに変換することができる。

3. 2 キャリブレーションパラメータの設定

本研究で用いるベクトル記法による機構モデルには、各座標系間の並進や回転に機能的な重複があり、パラメータに冗長性が生じる。そこで、冗長性を持たせる不要なパラメータの削除が必要となる。

まず、キャリブレーションのための測定基準点として、計測器の先端に点 P_a を置く。次に n 個の未知パラメータを要素とするベクトルを q とすると、基準点 P_a の位置を表すベクトル p (3×1) とベクトル q の関係は、式 (3) で表現できる。

$$p = f(q) \quad (3)$$

また、機構モデルのパラメータによる基準点 P_a の計測値とその実測値の偏差を Δp としたとき、 Δp が各パラメータの微小変動の線形結合の和で近似されることから、式 (4) で表現できる。

$$\Delta p = (\partial p / \partial q) \cdot \Delta q = A \cdot \Delta q \quad (4)$$

ここで、 A はパラメータに関するヤコビ行列 ($3 \times n$) を表す。さらに、 m 個の点 P_a に対する位置データを得ると、これらに対応したベクトル r ($3m \times$

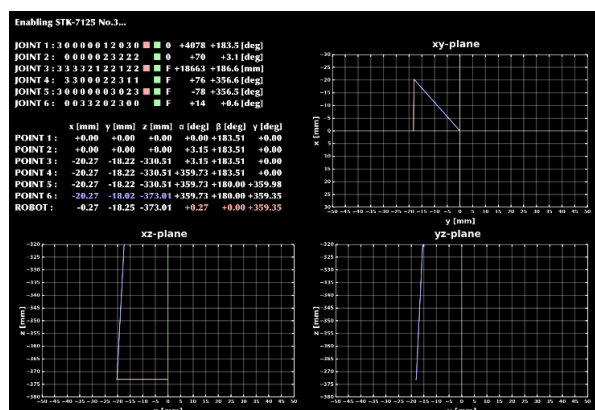


図 8 iPad による計測結果の描画画面

3. キャリブレーション手法

ここでは、石井らが行ったマニピュレータのキャリブレーション手法を接触型 3 次元位置計測器に適用する方法を示す[19]。

3. 1 機構モデルとキャリブレーションパラメータ

計測器のキャリブレーションには、機構モデルの構成とそのパラメータの設定が必要となる。そこで本研究では、計測器の機構モデルとして、す

1) と拡張ヤコビ行列 B ($3m \times n$) が得られるため、式 (5) が成り立つ。

$$\Delta r = B \cdot \Delta q \quad (5)$$

また、 Δr と B はそれぞれ、 $\Delta r = [\Delta p_1^T \ \Delta p_2^T \ \dots \ \Delta p_m^T]^T$ 、 $B = [A_1^T \ A_2^T \ \dots \ A_m^T]^T$ となる。なお、 B の逆変換が存在するためには、 n の 1/3 以上の計測回数が必要となる。

ここで、得られた式 (5) に計測器の異なる位置・姿勢時の基準点 P_a の実測値とエンコーダのオフセット値および各パラメータの初期値を代入することで B を構成する。次に、 B の要素に長さや角度などが含まれることにより、各値の隔たりが大きくなるため、適正な数値を用いて要素の正規化を行う。本研究では適正な数値として、 B のそれぞれの列において、要素の平方和に対する二乗根を使用した。

次に、正規化された行列 B の疑似逆行列を求める。一般的な疑似逆行列 B^* の求め方を式 (6) に示す。

$$B^* = [B^T B]^{-1} B^T \quad (6)$$

式 (6) を用いた場合、 B の状態によっては $[B^T B]^{-1}$ の値が発散する場合がある。そこで、本研究では、疑似逆行列を求める方法として、特異値分解法を用いる。 B を特異値分解すると式 (7)、式 (8) を得る。

$$B = U \cdot S \cdot V^T \quad (7)$$

$$S = \begin{bmatrix} h & n-h \\ G_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$G_{11} = \text{diag}(\sigma_1 \ \sigma_2 \ \dots \ \sigma_h)$$

なお、 U と V はどちらも直交行列となり、それぞれ $3m \times 3m$ 行列と $n \times n$ 行列になる。よって、式 (7) を用いて、正規化された行列 B の疑似逆行列を求める。この結果から、 G_{11} のランクつまり B のランクが求まる。 B のランクは、計測器で設定したすべてのパラメータ数より小さくなることから、冗長なパラメータを選択して取り除くことで、パラメータ数をランクまで減らすことができる。ここで、パラメータ数を減らすにあたり、式 (8) に着目する。まず、 h が B のランクであることから、直交行列 U と V をそれぞれランク h によって 2 つに分解し、 $U = [U_1 \ U_2]$ 、 $V = [V_1 \ V_2]$ とする。 V_2 は特

異値 0 に対応しており、 V_2 の各列の要素の絶対値が 1.0 に近い値を持つパラメータを削除対象の候補とする。また、この列の要素で絶対値が同じで符号が異なるものについては、それらの要素に対応するパラメータが互いに重複していることを意味する。

主要パラメータであるエンコーダのオフセット値やリンク長と重複するパラメータは、優先的に削除対象となるが、主要パラメータを削除した方が計算や制御上都合が良い場合は、その限りではない。また、2 つの重複パラメータが回転角度や変位である場合は、どちらか一方を削除する。ここで、計測器の絶対座標系における姿勢の内、どれか 1 つの座標系の軸と第 1 リンクの回転軸つまりエンコーダのオフセット値は必ず重複する。また、計測器の手先 P と基準点 P_a の誤差にあたる並進パラメータの内、1 つは必ず重複パラメータとなるため除外する必要がある。初期の段階で機構モデルから削除しておいても問題にはならない。

ここまですら不要な冗長パラメータの削除手順であり、この方法を用いて機構モデルの再構築を行う。さらに、次で述べるニュートン法による推定アルゴリズムを用いて、キャリブレーションパラメータの真値を求める。

3. 2 ニュートン法によるパラメータ推定

B 節と同様、式 (5) に計測器の異なる位置・姿勢時の基準点 P_a の実測値とエンコーダのオフセット値および各パラメータの初期値を代入することで B を構成する。次に、 A 節とは違い正規化は行わず、式 (7) を用いて、 B の疑似逆行列を求める。

ここで、 U_1 と V_1 を用いて式 (7) を式 (8) に置き換える。

$$B = U_1 \cdot G_{11} \cdot V_1^T \quad (8)$$

さらに、式 (8) を変形することで、疑似逆行列 B^+ が式 (9) で表される。

$$B^+ = V_1 \cdot G_{11}^{-1} \cdot U_1^T \quad (9)$$

$$G_{11} = \text{diag}(1/\sigma_1 \ 1/\sigma_2 \ \dots \ 1/\sigma_h)$$

よって、式 (5) より式 (10) となることから、修正前の q_i と修正後の q_{i+1} の間には、式 (11) の関係が成り立つ。

$$\Delta q = B^+ \cdot \Delta r \quad (10)$$

$$q_{i+1} = q_i + \Delta q \quad (11)$$

この修正後の q_{i+1} を式 (5) に代入し、 Δq が 0 に近づき収束するまで演算を繰り返すことで、 n 個のキャリブレーションパラメータ q の真値が推定される。

しかし、実際にはこの手法では収束しない。石川らがこの手法を発表したのは、1989 年である。当時のコンピュータの性能は、現在と比べてかなり低く、計算結果の精度が低い上に有効桁数も少ない。そのため、当時は G_{11} の要素の後半部分が 0 になったと考えられる。現在の計算結果では、後半部分は限りなく 0 に近づくが 0 になりきらないため、逆数である G_{11}^{-1} の要素の後半部分では、かなり大きな数値が並ぶ。そのため、推定結果が安定せず、発振し続ける。そこで、 G_{11}^{-1} の要素の後半部分を 0 にする低ランク近似を用いることで、この問題を解決する。

4. 低ランク近似による収束の検証

接触型 3 次元計測器は、図 3 において各関節の直交回転軸の方向に合わせて、6 個の座標系を設定する。

絶対座標系の原点 P_0 から $[x_{p0} \ y_{p0} \ z_{p0}]$ の位置を J_1 の座標系 P_1 とする。つまり、この 3 つの要素がパラメータとなる。次に、 P_1 におけるねじれ角の内、 y 軸周りは回転軸となる。よって、III の A で述べたとおり、エンコーダのオフセット値でパラメータを置き換えることができることから、パラメータを $[\alpha_1 \ O_1 \ Y_1]$ とする。同様に、 $J_2 \sim J_6$ の座標系 $P_2 \sim P_6$ を設け、それぞれのパラメータを $[x_{p1} \ y_{p1} \ z_{p1}]$, $[O_2 \ \beta_2 \ Y_2]$, $[x_{p2} \ y_{p2} \ z_{p2}]$, $[a_3 \ \beta_3 \ Y_3]$, $[x_{p3} \ y_{p3} \ l_3 + O_3]$, $[O_4 \ \beta_4 \ Y_4]$, $[x_{p4} \ y_{p4} \ z_{p4}]$, $[a_5 \ O_5 \ Y_5]$, $[x_{p5} \ y_{p5} \ z_{p5}]$, $[a_6 \ \beta_6 \ O_6]$, $[0 \ 0 \ l_6]$ とすると、初期パラメータは全部で 38 個

となる。また l_3 については、リンクとしての物理的な長さを持っていることから定義しているが、最終的には O_3 と重複するため削除される。表 1 に、これらのパラメータの初期値とともに、 $C_1 \sim C_6$ の比例定数を示す。

表 1 初期パラメータと比例定数

x_{p0} [m]	y_{p0} [m]	z_{p0} [m]	α_1 [rad]	O_1 []	γ_1 [rad]
0	0	0	0	-3682	0
x_{p1} [m]	y_{p1} [m]	z_{p1} [m]	O_2 []	β_2 [rad]	γ_2 [rad]
0	0	0	676	0	0
x_{p2} [m]	y_{p2} [m]	z_{p2} [m]	α_3 [rad]	β_3 [rad]	γ_3 [rad]
0	0	0	0	0	0
x_{p3} [m]	y_{p3} [m]	l_3 [m]	O_3 []	O_4 []	β_4 [rad]
0	0	0.145	-25165	617	0
γ_4 [rad]	x_{p4} [m]	y_{p4} [m]	z_{p4} [m]	α_5 [rad]	O_5 []
0	0	0	0	0	281
γ_5 [rad]	x_{p5} [m]	y_{p5} [m]	z_{p5} [m]	α_6 [rad]	β_6 [rad]
0	0	0	0	0	0
O_6 []	l_6 [m]				
-1886	0.0425				
C_1 []	C_2 []	C_3 []	C_4 []	C_5 []	C_6 []
1273.24	1273.24	100000.00	-1273.24	1273.24	1273.24

次に、キャリブレーションパラメータの設定を行うために、基準点 $P_a[x_{pa} \ y_{pa} \ z_{pa} \ \alpha_{pa} \ \beta_{pa} \ Y_{pa}]$ の計測を $x_{pa} = -20.0, 0.0, 20.0$ mm, $y_{pa} = -20.0, 0.0, 20.0$ mm, $z_{pa} = -373.0, -363.0, -353.0$ mm, $\alpha_{pa} = \beta_{pa} = Y_{pa} = 0.0$ deg の組み合わせ、27 箇所で行なった。その計測結果を表 2 に示す。なお、エンコーダの分解能は、回転方向を検知する UN-2000 が 4 通倍時に 0.045 deg, 並進方向を検知する DX-025 が 4 通倍時に 0.01 mm であり、全て 4 通倍で計測を行った。

表 2 キャリブレーションパラメータ設定のための計測データ

reference point						measured value					
x_{pa} [m]	y_{pa} [m]	z_{pa} [m]	α_{pa} [deg]	β_{pa} [deg]	γ_{pa} [deg]	x_{pa} [m]	y_{pa} [m]	z_{pa} [m]	α_{pa} [deg]	β_{pa} [deg]	γ_{pa} [deg]
-0.020	-0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.02011	-0.01884	-0.37299	0.23	0.13	0.35
-0.020	-0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.02027	-0.01874	-0.36303	0.27	0.13	0.21
-0.020	-0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.02010	-0.01861	-0.35308	0.31	0.09	0.30
0.000	-0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.03900	-0.01945	-0.37294	0.05	0.18	0.18
0.000	-0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.03900	-0.01937	-0.36300	0.05	0.18	0.36
0.000	-0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.03800	-0.01895	-0.35306	0.14	0.18	0.41
0.020	-0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	0.01955	-0.01962	-0.37295	359.87	0.27	0.31
0.020	-0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	0.01971	-0.01951	-0.36303	359.91	0.27	0.49
0.020	-0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	0.01958	-0.01912	-0.35301	359.96	0.27	0.31
-0.020	0.000	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.02030	0.00088	-0.37295	0.13	0.05	359.18
-0.020	0.000	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.02020	0.00086	-0.36303	0.13	0.05	359.14
-0.020	0.000	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.20330	0.00087	-0.35298	0.18	0.09	359.13
0.000	0.000	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.00036	0.00055	-0.37291	0.04	0.14	359.73
0.000	0.000	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.00035	0.00025	-0.36298	360.00	0.13	359.91
0.000	0.000	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.00038	0.00028	-0.35297	0.05	0.13	0.00
0.020	0.000	-0.373	0.000	0.000	0.000	0.01965	0.00045	-0.37292	359.91	0.14	0.76
0.020	0.000	-0.363	0.000	0.000	0.000	0.01974	0.00015	-0.36296	359.87	0.23	0.76
0.020	0.000	-0.353	0.000	0.000	0.000	0.01934	-0.00010	-0.35303	359.87	0.27	0.76
-0.020	0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.02001	0.02034	-0.37301	0.04	0.00	359.14
-0.020	0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.02017	0.02078	-0.36306	0.09	0.00	359.18
-0.020	0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.02030	0.02038	-0.35303	0.09	0.00	359.32
0.000	0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	-0.00033	0.02024	-0.37300	359.95	0.09	359.46
0.000	0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	-0.00032	0.02013	-0.36303	359.95	0.09	359.68
0.000	0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	-0.00031	0.01999	-0.35301	359.95	0.09	359.77
0.020	0.020	-0.373	0.000	0.000	0.000	0.01962	0.02018	-0.37301	359.82	0.18	0.26
0.020	0.020	-0.363	0.000	0.000	0.000	0.01953	0.02011	-0.36305	359.87	0.18	0.26
0.020	0.020	-0.353	0.000	0.000	0.000	0.01965	0.01969	-0.35304	359.82	0.18	359.72

この表 2 のデータを基に、Ⅲの B の手法を用いて、不要な冗長パラメータの削除を行った。B のランクが 22 となり、 V_2 の各列に着目して、要素に対するⅢの B の条件から冗長パラメータの削除を行った。しかし、削除した後の B のランクが 21 となり、必要なキャリブレーションパラメータが 1 つ欠落した。これは、キャリブレーションパラメータ設定に使用した計測データに誤差が含まれたことが原因である。そこで、疑わしいと思われるパラメータに対して、B のランクを評価基準とした二分法を地味に行っていくことで、誤って削除したキャリブレーション

パラメータを特定し、22 個に絞り込んだ。

最後にキャリブレーションパラメータに対して、Ⅲの C に示したニュートン法によるパラメータ推定を行った。Table 3 に 22 個のキャリブレーションパラメータの初期値と推定結果を収束の様子を踏まえて示す。Table 1 の初期パラメータの 38 個から削除されたパラメータの内、 O_2 、 I_3 、 O_6 は初期値を有していたため、それぞれ重複したキャリブレーションパラメータである α_3 、 O_3 、 Y_5 の初期値に置き換えた。これにより、ニュートン法の収束が早まり、推定回数を減らすことができた。

表 3 キャリブレーションパラメータ

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
x_{p0} [m]	0.00000	0.00023	0.00031	0.00031	0.00031	0.00031
y_{p0} [m]	0.00000	-0.00053	-0.00065	-0.00065	-0.00065	-0.00065
z_{p0} [m]	0.00000	-0.04124	-0.04130	-0.04130	-0.04130	-0.04130
O_1 [°]	-3682.00000	-3682.00000	-3682.00000	-3682.00000	-3682.00000	-3682.00000
γ_1 [rad]	0.00000	-0.00754	-0.00760	-0.00760	-0.00760	-0.00760
z_{p1} [m]	0.00000	-0.00322	-0.00311	-0.00311	-0.00311	-0.00311
γ_2 [rad]	0.00000	-0.00633	-0.00641	-0.00641	-0.00641	-0.00641
α_3 [rad]	-0.53093	-0.52796	-0.52769	-0.52767	-0.52767	-0.52767
β_3 [rad]	0.00000	0.00271	0.00291	0.00289	0.00289	0.00289
y_{p3} [m]	0.00000	0.00109	0.00119	0.00120	0.00120	0.00120
O_3 [°]	-39665.00000	-39665.00000	-39665.00000	-39665.00000	-39665.00000	-39665.00000
O_4 [°]	617.00000	617.00000	617.00000	617.00000	617.00000	617.00000
β_4 [rad]	0.00000	-0.00003	-0.00003	-0.00003	-0.00003	-0.00003
γ_4 [rad]	0.00000	-0.00139	-0.00139	-0.00139	-0.00139	-0.00139
x_{p4} [m]	0.00000	-0.00084	-0.00073	-0.00072	-0.00072	-0.00072
z_{p4} [m]	0.00000	-0.00159	-0.00146	-0.00146	-0.00146	-0.00146
α_5 [rad]	0.00000	-0.00003	-0.00003	-0.00003	-0.00003	-0.00003
O_5 [°]	281.00000	281.00000	281.00000	281.00000	281.00000	281.00000
γ_5 [rad]	1.48126	1.47920	1.47920	1.47920	1.47920	1.47920
α_6 [rad]	0.00000	-0.00016	-0.00016	-0.00016	-0.00016	-0.00016
β_6 [rad]	0.00000	0.00016	0.00016	0.00016	0.00016	0.00016
d_6 [m]	0.04250	0.00608	0.00578	0.00578	0.00578	0.00578

ここで、低ランク近似による収束について検証する。表 3 のキャリブレーションパラメータは、2 回目の推定で Δq は 0 に収束しているが、これは G_{11} の要素 σ_b に対して、0.010 以下を 0 とした低ランク近似によるものである。これに対して、0.001 以下を 0 とする低ランク近似では、 Δq は 0 に収束しない。図 9～図 12 に Δq が 0 に収束する場合としない場合を示す。この結果から、現代の高性能 PC において、低ランク近似を適用する必要があることが明らかとなった。なお、表 3 で得られたキャリブレーションパラメータを用いた計測については、本論文では割愛する。

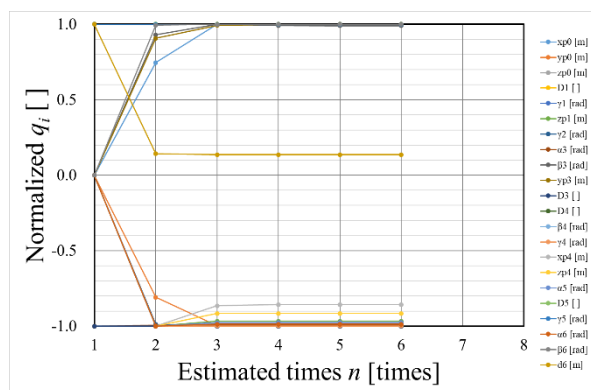


図 9 閾値 0.010 の正規化された q_i

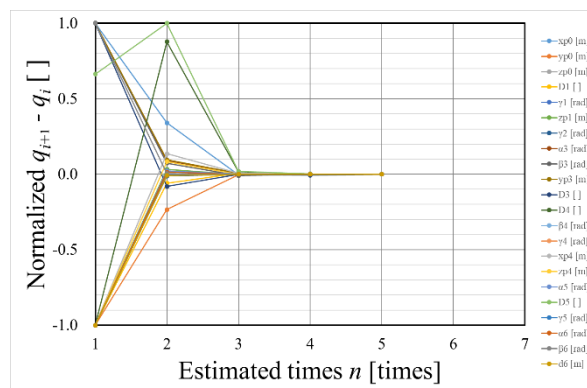


図 10 閾値 0.010 の正規化された $q_{i+1} - q_i$

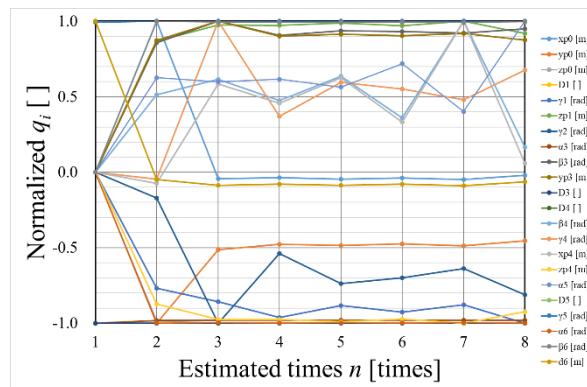


図 11 閾値 0.001 の正規化された q_i

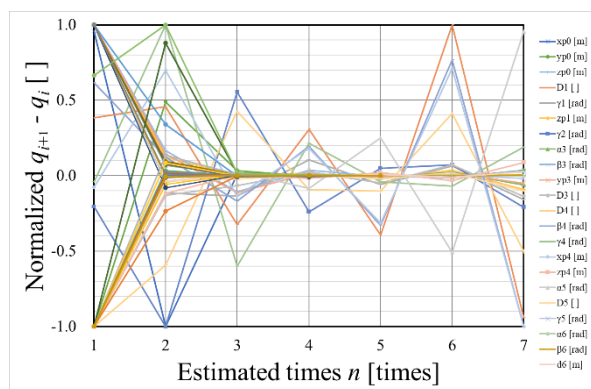


図 12 閾値 0.001 の正規化された $q_{i+1} - q_i$

4. 結 言

本論文では、接触型 3 次元位置計測器の誤差問題を解決するために、マニピュレータに用いられるキャリブレーション手法を計測器に適用する方法について述べた。その中で、機構モデルとそのキャリブレーションパラメータに触れ、冗長性を持たせる不要なパラメータの削除方法とニュートン法によるパラメータ推定を示した。さらに、低ランク近似を用いることで Δq が 0 に収束することを示した。今後、研究を進めていく上で、以下の 2 つの課題を提示しておく。

1. キャリブレーション後の精度検証

本論で求めたキャリブレーションパラメータを用いて、キャリブレーション前と後での精度検証を行うことで、実用性に耐えるか確認を行う必要がある。

2. テストフィールドのキャリブレーション

今回提示したキャリブレーションには、計測器と 6 軸ステージの設置位置の関係で生じる誤差である外部パラメータも含まれている。そのため、実際に配管検査用ロボットの検証を行う際は、6 軸ステージがテストフィールドに置き換わるため、誤差の外部パラメータも変わる。よって、計測器自身が持つ誤差の内部パラメータはそのままに、誤差の外部パラメータのみを再度推定する手法の確立が必要となる。

謝辞

本研究は、「令和 4 年度校長裁量経費」の助成を受けて実施しており、謝意を表す。

参考文献

- [1] 日本下水道新技術機構, "下水道用施設管理ロボットの開発基礎調査", 下水道新技術研究所年報, 1992, pp.43-52.
- [2] Rome, E., Hertzberg, J., Kirchner, F., Licht, U. and Christaller, T., "Towards Autonomous Sewer Robots: the MAKRO Project", Urban Water, Vol.1, 1999, pp.57-70.
- [3] Streich, H. and Adria, O., "Software approach for the autonomous inspection robot MAKRO", in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference Robotics and Automation, 2004, pp. 3411-3416.
- [4] Birkenhofer, C., Regenstein, K., Zöllner, J. M. and Dillmann, R., "Architecture of multi-segmented inspection Robot KAIRO-II", DOI: 10.1007/978-1-84628-974-3_35, In book: Robot Motion and Control, 2007, pp.381-389.
- [5] 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, 2013, 716.
- [6] 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, 2013, pp.1297-1300.
- [7] 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, 2014, 613.
- [8] 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, Vol.36, 2014, pp.79-82.
- [9] 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, Vol.37, 2015, pp.75-79.
- [10] 前田弘文, 黒住亮太, ” 自律型小型配管検査用ロボットの開発(寄木細工の手法を用いたハードウェアのモジュール化)”, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.839, 2016, pp.1-16.
- [11] Hirofumi M., “Automatic Compensation of the Positional Error Utilizing Localization Method in Pipe”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, Vol.9, No.6, 2021, pp.151-157.
- [12] 矢野祐貴, 伊藤嘉基, 前田弘文, ” AR 技術を用いた配管検査ロボットの自己位置計測 ”, 日本機械学会講演論文集 No.165-1, 2016, 502
- [13] 立花綾野, 前田弘文, ” 配管検査ロボット用位置計測器の精度向上”, 日本機械学会中国四国学生会第 47 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2017, 921.
- [14] 立花綾野, 前田弘文, ” 配管検査ロボット用位置計測器のハードウェア角度補正”, 日本機械学会講演論文集 No.185-1, 2018, 1304.
- [15] 石川敬太, 前田弘文, ” 接触型計測器のハードウェア設計”, 日本機械学会中国四国学生会第 52 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2022, 11b4.
- [16] 多田伊吹, 前田弘文, ” BLE による接触型計測器のデータ受信”, 日本機械学会講演論文集 No.225-1, 2022, 09a1.
- [17] 塩飽航平, 前田弘文, ” 接触型計測器によるロボットの姿勢計測”, 日本機械学会講演論文集 No.225-1, 2022, 09a2.
- [18] Hirofumi M., “A Contact Type Three Dimensional Position Measuring Instrument for Verification of a Piping Inspection Robot”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, Vol.10, No.6, 2022, pp.65-72.
- [19] 石井優, 坂根茂幸, 柿倉正義, 三上芳夫, ” 3 次元モデルに基づくロボットシステムのためのマニピュレータ・キャリブレーション”, 日本ロボット学会誌, Vol.7, No.2, 1989, pp.182-191.

筆算を次第に表示するスライドではない教材の TeX による作成法

久保 康幸 *

How to show column calculations step by step in TeX (not with a slide material)

Yasuyuki Kubo *

Abstract

I showed that using KpTCindy & TeX is sufficient to create materials for distance learning and materials for display them on screen in the classroom. They are not creating with PowerPoint or creating with Beamer slides (in TeX).

1. はじめに

COVID の感染拡大を契機として、この数年で遠隔授業が始まり、スライド教材をはじめとするデジタル教材を作成する教員が増えた。対面授業に戻った後も、教室のスクリーンに、あらかじめ用意した教材を表示するということが広まったと思う。それに対応する TeX の利用について、この数年で工夫してきたことをまとめておきたい。

2. 教材の説明とともに段階的に表示

私は、これまでに、問いと解答の切り替える環境の定義を紹介した (久保 [1], [2], [3])。

その使い方は、ある 1 行のコメントアウトを切り換えることにより、教材全体の解答部分の表示と非表示を一括で切り替えるものを想定していた。

その機能は残しつつ、スライド教材でページを送る代わりに、 TeX ソースの一部を修正して再コンパイルすることで、説明とともに段階的に教材を表示することが出来る。

この方法は、スライド教材のように見かけ上の一つのページの裏で多数のページを作成する必要がなく、途中までしか説明できなかつたときにも、以後の問題を表示しつつ、その解答を非表示にすることで、次の授業までの宿題とすることもできる。

具体的に、 TeX ソースの変更部分を紹介すると、次のようになる。

用意する教材は、解答部分を ckai 環境に入れておく (図 1)。授業中の説明とともに表示したい解答部分を dkai 環境に直してコンパイルすれば良い。図 2 は、解答部分 1 まで説明が進んだとする例である。

```
設問文\\
\begin{ckai}解答部分 1\end{ckai}\\
\begin{ckai}解答部分 2\end{ckai}
```

(図 1 ckai 環境のソース)

```
設問文\\
\begin{dkai}解答部分 1\end{dkai}\\
\begin{ckai}解答部分 2\end{ckai}
```

(図 2 dkai 環境のソース)

それぞれのソースをコンパイルして学生に表示するのは、次のようになる (図 3, 図 4)。なお、非表示部分が分かるように、非表示部分を灰色で示した。

```
設問文
解答部分 1
解答部分 2
```

(図 3 ckai 環境の表示)

```
設問文
解答部分 1
解答部分 2
```

(図 4 dkai 環境の表示)

3. 筆算への対応

3.1 通常の入力法

筆算については、array 環境を利用した入力法が知られている ([4])。

筆算部分をまとめて ckai 環境に入れることにより表示・非表示を切り替えることが出来る。

$3x^2 + 5x - 10$ を $x + 3$ で割る筆算 (図5) については、図6のように入力すれば良い。

$$\begin{array}{r}
 3x - 4 \\
 x + 3 \overline{) 3x^2 + 5x - 10} \\
 \underline{3x^2 + 9x} \\
 -4x - 10 \\
 \underline{-4x - 12} \\
 2
 \end{array}$$

(図5 筆算の実例)

```


$$\begin{array}{r}
 3x - 4 \\
 x + 3 \overline{) 3x^2 + 5x - 10} \\
 \underline{3x^2 + 9x} \phantom{- 10} \\
 -4x - 10 \\
 \underline{-4x - 12} \\
 2
 \end{array}$$

 
```

(図6 筆算のソース)

なお、TeX では、符号と二項演算子で、後ろに続く文字との間隔(グルー)を変えるので、"+", "-" の前に{}を付けて、これらが二項演算子であると指定している。

3.2 筆算の内容も段階的に表示

次の筆算 (図7) は、 $3x^2 + 5x - 10$ を $x + 3$ で割る筆算の過程で、 $3x^2 + 5x - 10$ から $3x \times (x + 3) = 3x^2 + 9x$ を引いて、 x の1次の項が $-4x$ となったところまでを示している。

$$\begin{array}{r}
 3x - 4 \\
 x + 3 \overline{) 3x^2 + 5x - 10} \\
 \underline{3x^2 + 9x} \\
 -4x - 10 \\
 \underline{-4x - 12} \\
 2
 \end{array}$$

(図7 筆算の例)

ただし、図3と同様に、非表示の部分を示す代わりに、非表示部分を灰色で示した。

この筆算を表現するのに、図6で示したソースの"&"と"&"の間の項をそれぞれ ckai 環境に入れるのは、例えば、 $\&3x\&$ の表示切替のために

$\&\begin{\ckai}3x\end{\ckai}\&$

を入力することになり、煩雑すぎて、現実的でない。

図6のソースよりは複雑だが、K_εT_εCindy に付属している layer 環境を利用することにした。

K_εT_εCindy は、CTAN で配布されていて、最新版は、そのリンク ([5]) からダウンロードできる。

図7のための layer 環境内のソースを図8として示す。後の説明のため、行の先頭に番号をつけ、重要な行について赤色にしておく。

```

01 \begin{\dkai}
02 \putnotenw{24}{0}{3x\ru$}
03 \lineseg{16}{1}{31}{0}
04 \putnotenw{18}{5.3}{\big}$}
05 \putnotenw{15}{6}{x+3\ru$}
06 \putnotenw{26}{6}{3x^2\ru$}
07 \putnotenw{36}{6}{\{-}+5x\ru$}
08 \putnotenw{45}{6}{\{-}10\ru$}
09 \putnotenw{26}{10}{3x^2\ru$}
10 \putnotenw{36}{10}{\{-}+9x\ru$}
11 \lineseg{19}{10.7}{28}{0}
12 \putnotenw{36}{16}{\{-}4x\ru$}
13 \end{\dkai}\begin{\ckai}
14 \putnotenw{31}{0}{\{-}4\ru$}
15 \putnotenw{45}{16}{\{-}10\ru$}
16 \putnotenw{36}{20}{\{-}4x\ru$}
17 \putnotenw{45}{20}{\{-}12\ru$}
18 \lineseg{24}{20.7}{22}{0}
19 \putnotenw{45}{26}{\{-}2\ru$}
20 \end{\ckai}

```

(図8 筆算のソース)

3.3 ソースの概要

01 行目で、dkai 環境を開始し、02 行目から 12 行目で図7のマゼンタ色の部分を配置している。

赤色で表示した 13 行目で、dkai 環境から ckai 環境へ切り替え、表示を切り替えている。この行を移動させることにより、計算の過程の表示させる範囲を指定できる。

14 行目から 19 行目は ckai 環境内にあるので、図7の非表示 (ここでは灰色) の部分になる。

3.4 ソースに現れる命令の説明

3.4.1 putnote 系コマンド

layer 環境内では、putnote 系コマンドで文字列などを配置する。putnotenw の他にputnotesw,

`\putnotene`, `\putnotese` などがあるが、指定した座標を基準に右上に配置する `\putnotenw` により、それぞれの項の右位置、下位置を合わせやすくした。05 行目から 08 行目までの y 座標が 6 でそろっているのは、それらを図 7 の同じ行に並べるためである。7,10,12,16 行目の x 座標が 36 でそろっているのは、それぞれの行の x の 1 次の項を縦にそろえるためである。8,15,17,19 行目の x 座標が 45 でそろっているのは、それぞれの行の定数項を縦にそろえるためである。

数値の桁数が異なっても右がそろっている。なお、一番上の商 $3x - 4$ の項は、同じ列の縦に並んでも下の行とは次数が異なる項なのでそろえていない。

3.4.2 各項の上下の微調整

`\putnotenw` を使っても、下の位置は深さが異なる文字により差が出る。その対応として各項を配置する座標を微調整する必要はない。`\rule` コマンドを利用して定義した `\ru` を利用する。その定義は、

```
\newcommand{\ru}{\rule[-.78ex]{0ex}{2.67ex}}
```

としている。考え方としては、文献 [6]p.86 で紹介されている `\mathstrut` の使い方と同じである。

`\ru` による調整をしない場合を図 9 に示す。図 7 と比べて、 $3x$ に対する -4 の上下位置などがわずかに異なることが分かる。

なお、ローカルな命令 `\ru` を定義したくない場合は、`\smash` で文字の深さを無視したり、`\vphantom` で深さのある文字に合わせるなどで対応できることは確認した。

$$\begin{array}{r}
 3x - 4 \\
 x + 3 \overline{) 3x^2 + 5x - 10} \\
 \underline{3x^2 + 9x} \\
 -4x - 10 \\
 \underline{-4x - 12} \\
 2
 \end{array}$$

(図 9 筆算の例)

3.4.3 筆算全体の左右調整

いったん作った筆算の左右を調整するには、それぞれの項の座標を直さなくても、`layer` 環境の水平移動オプションを利用すると良い。`KpTcindy` パッケージの "KetPicStyleJ.pdf" に次の説明があり、

```
\begin{layer}[Ho]{W}{H}... \end{layer}
```

`Ho` が正の数で右へ、負の数で左へ移動する。

参考文献および参考 URL

- [1] 久保康幸・亀田真澄：TeX 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：TeX 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] 久保康幸・亀田真澄：TeX による問と答の表示切替 3，弓削商船高等専門学校紀要，第 42 号，pp.13–18, (2020).
- [4] TeX Q& A 「Re: 小学校での算数におけるの足し算、掛け算、割り算の筆算計算式の TeX での出力」 (<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/texfaq/qa/12952.html>) (サイト確認 2022/9/13)
- [5] 「CTAN ketcindy」 (<https://ctan.org/pkg/ketcindy>) (サイト確認 2022/9/13)
- [6] 奥村晴彦ほか：[改訂 第 8 版] L^AT_EX2_ε 美文書作成入門，技術評論社，(2020).

高専ロボコンにおけるBチームの活動報告

—2021年と2022年について—

大澤 茂治*

Activity Report of B Team in the KOSEN ROBOCON

—About 2022 and 2021—

Shigeji Osawa*

Abstract

This paper reports about robots and contest results of B team of Yuge college in the KOSEN ROBOCON 2021 and 2022. B team is composed of a small number of robots making beginners. In addition, the B team activities in 2021 and 2022 were carried out during the coronavirus pandemic. But they completed robots making, got the special award in the local preliminary.

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、与えられた課題に対するアイデアを競う大会である。大会は、まず、全国8地区で実施される地区大会で試合が行われる。全国大会へ進めるチームは、各地区大会の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[1][2]。

試合形式で勝敗を決めているため、勝敗ばかりが目されるが、実際は、創造的アイデアを大切にす大会である。地区大会、全国大会共に、「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」が設けられており、良いロボットを製作したチームに贈られる。特に全国大会では、最高の賞である「ロボコン大賞」が設けられており、「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。

2021年と2022年は、新型コロナが流行しており、活動中のマスク着用、手指の消毒等、新型コロナの対策が必要であった。また、本校の感染状況により、オンライン授業や休校、学級閉鎖等が予測でき、活動時間が例年よりも少なくなることが見込まれた。このように2021年と2022年は、ロボット製作の活動が行いづらい時期であった。

弓削商船高専のBチームは、大澤研究室の卒研究生（電子機械工学科5年生）で構成され、2021年、2022年ともに5名のみと非常に少ない人数であり、多くの学生がロボット製作は初めてである。さらにロボット製作時間は、主に週8時間の卒業研究の時間のみである。他のチームは、部活動で毎日活動しており、約10名のロボット製作経験者で構成されており、本チームは、高専ロボコン参加チームでは異例のチームである。このようなチームであるが、2021年と2022年の四国地区大会において、特別賞を受賞している。

本稿では、少人数のロボット製作初心者チームにおけるコンテスト指導事例として、また、新型コロナ禍のような活動制限がある場合の活動事例として、2021と2022年度の高専ロボコンの弓削商船高専Bチームの活動の報告を行う。

2. 2021年について

2.1 課題

2021年の課題名は、「超絶技巧（すごロボ）」である。自分たちがこだわってきた技術、挑戦してみたい新しい技を追求し、その技術を実装したロボットを製作し、2分間のパフォーマンスを行う課題である。パフォーマンスは、縦6000[mm]×横6000[mm]以下のフィールド内で、「趣味」「実用」「芸術」「スポーツ」「段ボール積み」「ペットボトル立て」「洗濯物干し」等、なんでも良い。また、小道具を使用しても良く、

パフォーマンス中にプレゼンを行ってもかまわない。ロボットは、手動でも自動でも良く、3 台までパフォーマンスに参加できる[1].

2. 2 目標と方針

目標は、「動くロボットを作ること」であった。本チームは、人数が 5 名と少なく、ロボット製作の初心者ばかりであり、作業時間も 1 週間に 8 時間程度であり多くは取れない。さらに 2021 年度は、新型コロナ禍にあり、少ない作業時間がさらに少なくなることが予測され、動くロボットを製作することさえも困難だと考えていた。

方針は、作業時間が少ないことへの対策を中心に検討し、以下のように定めた。

- ① 多くのアイデアを出し、独創性と製作しやすさから採用すること。
- ② 前回大会のロボットの部品をできる限り流用すること。
- ③ ロボット製作に用いるフレームなどの機械部品は、株式会社ミスミ[3]のものを積極的に使用すること。

2. 3 パフォーマンス

パフォーマンスは、卒業までの単位取得を「だるま落とし」で表現するものとした。だるま落としのブロックは、一番上に「卒業」と書かれたブロックを置き、その下に「工学実験」、「応用数学」、「設計製図」等の科目名が入ったブロックを置く（図 1 参照）。1 つのブロックの大きさは、235[mm]×310[mm]×225[mm]であり、重さは 260[g]である。パフォーマンスでは、このブロックを 8 個使用する。

使用するロボットは、2 台とした。2 台ともに無線コントローラで操作する手動ロボットである。だるま落としを行うロボットとそのロボットを応援するロボットである。応援ロボットは、2019 年度の大会時に非常に評判がよかった[4]ため、2021 年度大会でも製作することとした。部品の流用ができるため、負荷をあまりかけずに製作できる。

パフォーマンスの流れを説明する。まず、だるま落としロボットで科目名が書かれたブロックを落としていく。このとき、応援ロボットは、応援動作を行う。ブロックを崩してしまい失敗となったら、メンバーがブロックを組みなおし、再度挑戦する。再度挑戦するとき、応援ロボットは、だるま落としの支援を行う。ブロックを落としていき、メンバーの手の届く高さに卒業ブロックが来たら、メンバーが卒業ブロックを取り、高く掲げ、「卒業！」と宣言し、終了する。



図 1 積み上げたブロック



図 2 だるま落としロボット「ダルマル」

2. 4 だるま落としロボット「ダルマル」

だるま落としを行うロボット「ダルマル」について述べる。ブロックを叩くときの外観を図 2 に示す。外装は、だるまを模したデザインになっている。サイズは、初期状態で縦 555[mm]、横 560[mm]、高さ 1010[mm]であり、重量は 15.8[kg]である[5].

移動機構は、直径 127[mm]のオムニホイールを使用した全方位移動機構を採用しており、ブロックを叩くとき、微細な位置調整が行える。

ブロックを叩く腕は、棒状であり上下回転が行える。初期状態及び移動時は、安全のため胴体内に腕を格納しておき、ブロックを叩くときのみ腕を胴体から出す。ブロックを叩く動作は、腕を出し、ロボットが旋回することにより実現している。このときの旋回は、速度最大とした。

外装は、赤いプラスチック段ボールで作成した。また、外装内側の側面に長さ 25[mm]のカラーLEDテープを装着している。初期状態では、黄色に点灯し、コントローラでの操作を1つのボタンを除いて、受け付けない状態である。つまり安全に停止させている状態を示している。動作するときには、緑色に点灯する。そして、ブロックを叩くときは、赤色に点灯する。

用いたモータは移動機構に4台、腕の上下回転に1台の計5台である。移動機構用は、回転速度が速いツカサ電工株式会社製のDCモータTG-85R-KU-96-KA, 12Vを用いた。そして、腕用は、トルクが大きい同社のDCモータTG-85R-SU-552-KA, 12Vを用いた。各モータの制御は、Arduino MEGAADK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VS-C3無線コントローラを用いた。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。

2. 5 応援ロボット「ヘルパー君」

応援及びだるま落としの支援を行うロボット「ヘルパー君」について述べる。初期状態を図3、応援動作の様子（背面からの画像）を図4、ブロックを支え支援している様子を図5に示す。サイズは、初期状態で縦630[mm]、横630[mm]、高さ900[mm]、展開すると最大で縦1000[mm]、横630[mm]、高さ1600[mm]となる。重量は19.4[kg]である[6]。

移動機構は、直径127[mm]のオムニホイールを使用した全方位移動機構を採用しており、ブロックを支えるとき、微細な位置調整が行える。

2本の腕を有しており、上下回転と左右回転が行える。これにより、旗振りのような応援動作とブロックを挟むように支える支援動作を行う。腕は、アルミアングルとプラスチック段ボールで製作されており、初期状態では、安全のため胴体内に格納されている。また、胴体前面を平らにすることにより、胴体前面でもブロックを支えることができるように、腕は背面から出てくる（図4参照）ように製作した。腕の大きさは、応援動作や多くのブロックを支えられるように、サイズ上限で設計している。なお、腕の側面には、「オレたちならできる」、「BEST EFFORT」というメッセージをシールで作成した。

外装は、白い箱をモチーフとしている。2019年度の応援ロボットが白い箱型だった[4]ため、観客や審査員にその時のロボットを想起させるように、あえて同じような外装とした。素材は、白いプラスチック段ボールとした。また、外装内側の前面および側面に長さ25[mm]のカラーLEDテープを装着している。初期状



図3 応援及び支援ロボット「ヘルパー君」



図4 応援動作を行うロボット（背面）



図5 支援動作を行うロボット

態では黄色に点灯し、コントローラでの操作を 1 つのボタンを除いて、受け付けられない状態である。つまり安全に停止させている状態を示している。動作するときには、緑色に点灯する。そして、腕の位置を微調整するときには、微調整モードを設けており、青色に点灯する。

用いたモータは移動機構に 4 台、2 本の腕の上下回転に 2 台、左右回転に 2 台の計 8 台である。移動機構用は、回転速度が速いつかさ電工株式会社製の DC モータ TG-85R-KU-96-KA, 12V を用いた。腕用は、トルクが大きい同社の DC モータ TG-85R-SU-552-KA, 12V を用いた。各モータの制御用マイコン、無線コントローラ、バッテリーは「ダルマール」と同様にものを使用した（第 2.4 節参照）。

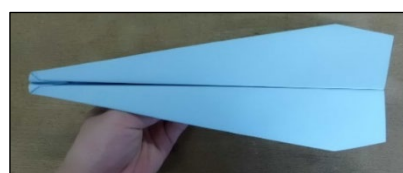
2. 5 大会結果

2021 年 10 月 24 日、オンラインにて、四国地区大会が開催された。本チームは、ダルマールとヘルパー君による共同作業により、第 2.3 節で述べたパフォーマンスであるブロック落としを成功させ、「動くロボットを作る」という目標を達成することができた。そして、本パフォーマンスは、40 点満点中 29 点であり、参加した 11 チーム中 6 位であった。図 6 に共同でブロックを落とす様子を示す。表彰式では、「シンプルな構造のロボット、2 台による共同作業でパフォーマンスを成功させたこと」が評価され、特別賞（マブチモーター賞）を受賞することができた。

ロボットを作ること」であった。



図 6 共同作業によるだるま落とし



(a) 上面



(b) 側面

図 7 使用した紙飛行機

3. 2022 年について

3. 1 課題

2022 年の課題名は、「ミラクル☆フライ ～空へ舞い上がれ！～」である。自作した紙飛行機をロボットが飛ばし、5 箇所の円形スポット、2 箇所の縦長滑走路、2 種類の筒型ベースの中に着陸させていく対戦型競技である。円形スポットは、着陸させると 1 点となるが、1 機までしか得点にならない。滑走路、筒形ベースは紙飛行機の数に制限がなく、滑走路は 1 点、直径 400[mm] の筒型ベースは 3 点、直径 200[mm] の筒型ベースは 5 点となっている。競技時間 2 分 30 秒で得点が多いチームの勝利となるが、全てのスポット、滑走路、ベースに紙飛行機を着陸させることができれば、V ゴールと言い、そのチームの勝利となる[2]。

3. 2 目標と方針

目標は、2021 年度と同様に新型コロナ禍であることから、作業時間が少なくなることを想定し、「動く

方針は、直径 400[mm] の筒型ベースのみを狙うこととした。2022 年度の課題は、紙飛行機を着陸させる領域が非常に狭いことから難易度が高い。多くのチームが 1、2 点しか取れないことを予想し、着陸させれば 3 点獲得できる直径 400[mm] の筒型ベースを狙うことを考えた。また、スポット、滑走路、2 種類のベース全てに紙飛行機を飛ばすことを考えると、複数種類の紙飛行機の発射装置が必要になる。しかし、狙いを 1 箇所に絞ることにすれば、発射装置を 1 種類のみとすることができ、ロボット製作の負荷を軽減し、少ない作業時間で確実にロボットを製作できると考えた。

3. 3 使用した紙飛行機

直径 400[mm] の筒型ベースは、紙飛行機を 6.5[m] 以上飛ばせなければならない。このため、直進性が良い紙飛行機が適切である。そこで、インターネットで紙飛行機を調べ、多くの紙飛行機を折り、人間の手で

飛ばし、直進性が良いものを採用した。採用した紙飛行機[7]を図7に示す。サイズは、長さ 275[mm]、幅 105[mm]、高さ 55[mm]であり、重量は 7.7[g]である。なお、紙飛行機を折る紙は指定されており、A4 カラーペーパー特厚口 (厚さ 0.15[mm]) を用いている。

3. 4 製作したロボット「ユゲインパルス」

製作したロボット「ユゲインパルス」について述べる。初期状態を図8、紙飛行機を発射するため展開した状態を図9に示す。サイズは、初期状態で縦 745[mm]、横 790[mm]、高さ 1150[mm]、展開すると最大で縦 745[mm]、横 790[mm]、高さ 1600[mm]となる。重量は 29.8[kg]である。

移動機構は、直径 127[mm]のオムニホイールを使用した全方位移動機構を採用しており、紙飛行機を発射するとき、微細な位置調整が行える[9]。

紙飛行機の発射装置は、紙飛行機を射出する発射機構と発射機構を上下させる昇降機構から成り[8]、初期状態では、安全のため胴体内に格納されている。発射機構は、図10のように4台の発射台から構成され、発射台の上に載せた紙飛行機をパチンコのようにゴムの力で飛ばす。ゴムをかけるトリガーはモータで動作する。重量と設置空間から2つのトリガーを1つのモータで動作させるよう設計した。昇降機構は、リード 10[mm]のボールねじを使用し、発射機構の昇降動作を実現した。なお、紙飛行機の装填は、メンバーが手動で行う。

外装は、青いプラスチック段ボールで製作した。ロボット名の「ユゲインパルス」は、航空自衛隊の展示飛行を行う専門チーム「ブルーインパルス」から採っているため、青い外装とした。また、外装内側の前面と後面に長さ 30[mm]の緑と赤の LED テープを装着している。初期状態では赤色に点灯し、コントローラでの操作を1つのボタンを除いて、受け付けない状態である。つまり安全に停止させている状態を示している。動作するとき、緑色に点灯する。

用いたモータは移動機構に4台、紙飛行機の発射トリガーに2台、昇降機構に1台の計7台である。移動機構用は、回転速度が速いツカサ電工株式会社製の DC モータ TG-85R-KU-96-KA, 12V を用いた。発射トリガー用は、トルクが大きい同社の DC モータ TG-85R-SU-552-KA, 12V を用い、発射装置の上下移動用には、回転速度が非常に速い同社の DC モータ TG-85R-KU-24-KA, 12V を用いた。各モータの制御用マイコン、無線コントローラ、バッテリーは第2.4節で述べたロボット「ダルマール」と同様にもを使用した。



図8 紙飛行機発射ロボット「ユゲインパルス」



図9 紙飛行機を発射するときの状態

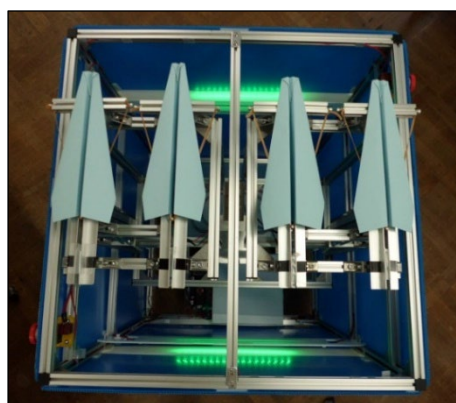


図10 発射機構の上面

3. 5 大会結果

2022 年 10 月 9 日、新居浜工業高等専門学校校の体育館にて、四国地区大会が開催された。本チームは、予選リーグにて、新居浜高専 B チームと香川高専高松キャンパス A チームと対戦した。2 戦ともに直径 40[mm]のベースを狙い、1 戦につき 12 機の紙飛行機を発射したが、惜しくもベースに着陸させられず、得点は 0 点となり 2 敗した。大会では、紙飛行機を狙いのベースに着陸させることができなかったが、ロボットの機能を確認する大会前日のテストランでは、狙いのベースに紙飛行機を 1 機、着陸させることができていた。また、練習場での動作確認時でも着陸させられていたので、残念な結果となった。しかしながら、ロボットは移動機構、発射機構共に正常に動作し、目標の「動くロボットを作ること」は達成できた。さらに表彰式では、気持ち良く飛ぶ紙飛行機を発射する装置を評価され、特別賞（東京エレクトロン賞）を受賞することができた。

4. おわりに

本稿では、2021 年と 2022 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及び大会結果について述べた。

2021 年と 2022 年ともに新型コロナ禍であり、作業時間が例年よりも少なくなることを想定し、目標を「動くロボットを作ること」とし、アイデアの検討、ロボットの製作を行い、大会に臨んだ。2021 年は、2 台のロボットによる共同作業でブロック落としパフォーマンスを成功させた。2022 年度は、直径 400[mm]の筒型ベースに紙飛行機を着陸させるための紙飛行機発射装置を備えたロボットを製作し、紙飛行機を 2 試合で合計 24 機、発射することに成功した。どちらもロボットを正常に動作させ、目標を達成することができた。さらに、特別賞も受賞することができた。

目標以上の結果は得られたが、流用する部品が多かったためか、外見が四角形のためか、2019 年から同じようなロボット製作が続いていると感じる。もっと学生には自由な発想のもと、ロボット製作を行ってほしい。今後は、より自由にアイデアを検討させ、弓削商船高専の学生の良さを盛り込んだロボットを製作させられるような指導を行いたい。

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 34 回アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト 2021 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 35 回アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト 2022 ルールブック
- [3] 株式会社ミスミ HP : <http://www.misumi.co.jp/>
- [4] 大澤茂治, 武田海 : 高専ロボコンにおける B チームの活動報告 —2018 年と 2019 年について—, 弓削商船高等専門学校紀要 第 42 号, pp.47~52, 2020.
- [5] 廣瀬泰岳, 古岡大空, 毛利総一郎 : 高専ロボコン 2021 のためのロボット製作 —ロボット「ダルマール」の製作—, 令和 3 年度電子機械工学科卒業論文, 2021.
- [6] 池田渉, 伊藤雅人 : 高専ロボコン 2021 のためのロボット製作 —ロボット「ヘルパー君」の製作—, 令和 3 年度電子機械工学科卒業論文, 2021.
- [7] セミ飛行機 01 の作り方 : <http://kefi.ikaduchi.com/oo51/index-10.html>
- [8] 石橋卓, 河本幸樹 : 高専ロボコン 2022 のためのロボット製作 —紙飛行機発射装置の製作—, 令和 4 年度電子機械工学科卒業論文, 2022.
- [9] 岡田康生, 仲野麟之介, 花岡亮哉 : 高専ロボコン 2022 のためのロボット製作 —移動機構と外装の製作—, 令和 4 年度電子機械工学科卒業論文, 2022.