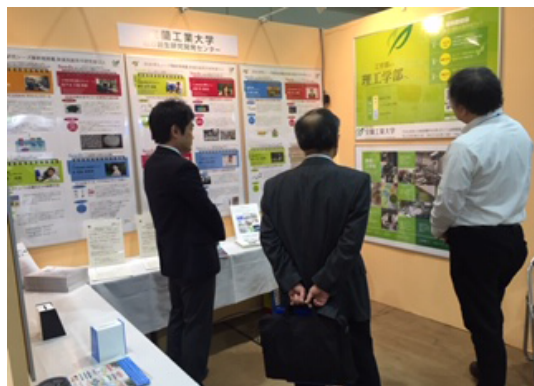


室蘭工業大学

地域共同研究開発センター 研究報告

No. 30



2020



*Center for Cooperative Research
and
Development
Muroran Institute of Technology*

— 目 次 —

【平成 30 年度 プレ共同研究成果】

- (1) AI 利活用による地域特徴に対応する下水処理モデルの研究開発・・・・・・・・・・1
塩谷 浩之、佐藤 克行
- (2) 太陽熱・地熱を利用した温度差発電システムの開発・・・・・・・・・・3
関根 ちひろ、中村 祐揮
- (3) 凍結防止剤散布車の洗浄作業の軽労力化に関する調査・・・・・・・・・・7
花島 直彦、長谷 隆功、喜多 俊平、小川 雅敏
- (4) 木質系バイオマス燃焼灰の新規利用法に関する研究・・・・・・・・・・12
澤田 紋佳、山中 真也、成田 貢、佐々木 一
- (5) 麻薬性のない新規ペプチド鎮痛薬の開発・・・・・・・・・・15
中野 博人、櫻田 忍

【表紙写真】

左上：平成 30 年度 地域共同研究開発センター研究協力会役員会総会 (H30, 7, 10)

右上：北洋銀行ものづくりテクノフェア 2018 (H30, 7, 26)

左下：第 30 回 フロンティア技術検討会 (H30, 10, 25)

右下：ビジネス EXPO2018 (H30, 11, 8)

【平成 30 年度 プレ共同研究成果】

AI 利活用による地域特徴に対応する 下水処理モデルの研究開発

塩谷 浩之*, 大澤 知弥*, 塚本 蔵人*, 萩原 翔太*, 柳本 光皓**, 大森 康弘**

*室蘭工業大学 **株式会社データベース

1 はじめに

電気等のエネルギーの自由化のなかで、官庁が管理していた業務の民間管理化が進んでいる。下水処理施設では、民間に管理業務を委託して運営する形式となっており、上水道の民間管理も進みつつある。

本課題では、AI の利活用による地域特徴に対応する下水処理モデルの開発を目標としている。下水処理の流れ行程については大体共通となるが、対応地域で処理する下水に特徴がある。情報技術による下水処理管理の効率化・完全自動化には、個別の特徴に対応できる研究開発が必要とされる。令和元年度のプレ研究においては、下水処理場がまとめている日報データに着目し、多数の項目間の関連性を AI 技術によって抽出し、その施設に起因する要因を、データ間の関係性を見出す方法について検討する。

2 日報データ

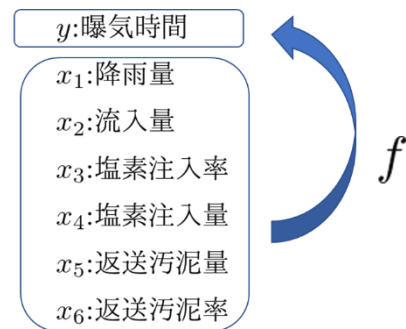
2.1 内容形式

下水処理では、活性汚泥モデルを基本としており、長く研究されてきている[2]。処理する施設では、日々の業務管理記録を日報データとしてまとめている。天気情報（気温・降水量）処理水量、電力量、消毒用の次亜塩素酸ナトリウム、動力用の重油、LP ガス、消化ガス、最初沈殿池の沈殿時間等、曝気時間、溶存酸素量、MLSS 濃度、BOD-SS 負荷、最終沈殿池沈殿時間等、200 以上の項目によって日報データは構成されている。

例えば、溶存酸素量（Dissolved Oxygen）は、曝気風量を変更する指標として用いる。溶存酸素量が低い場合は、曝気風量を増やすなどの変更を加えて好気性処理が進むように調整する。これまでの過去の記録によるデータマイニングでは、この日報を基準とするが、今後の発展的なデータ収集法も検討が必要となる。

2.2 項目間の関係性

本研究においては、データベース社が管理業務を行っている下水処理施設の日報データを利用する。各項目の関係性を調べるために、項目間の相関関係を用いた。具体的には、一定期間におけるデータを確率頻度と見なし、2 項目となる 2 つの確率変数に関する相互情報量から計算する。試行として、図 1 に示すように関係性を有するとして項目を抽出した。



$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

図 1：抽出した関係項目例と関係性の構築

本研究では、先の述べた溶存酸素など管理における元々重要性で選択するのではなく、データとして見たときの関係性に注目している。

3 関係性と抽出と AI

3.1 関係性構築のための数理モデル

最近 AI が再度隆盛して、シグモイドや ReLU を素子の活性化関数とする階層型を基本に、超多層であっても、深層学習によって各種問題へのアプローチがされている。しかしながら学習によって得られた AI は「ブラックボックス」であるので、データの関係性や法則性などを求めることはできない。そこで本研究では数法則ニューラルネットを用いる [1]。

入力素子数を I として入力を (x_1, \dots, x_I) とする。入力層から中間層に素子同士が結合される。中間層の素子数を J 個とする。入力素子 x_i と中間素子 h_j の間の結合度合を表す重みを w_{ij} とする。通常の階層型ニューラルネットワークでは中間層への入力を線形和とする。数法則に対応するためのニューラルネットワークでは、中間素子 h_j への入力を $x_1^{w_{1j}} x_2^{w_{2j}} \dots x_I^{w_{Ij}}$ とする。 $w_{1j} \log x_1 + \dots + w_{Ij} \log x_I$ とすると、線形和とも対応することがわかる。ここでは出力層が1つの素子として、中間層と出力層の間の結合重みを c_0, c_1, \dots, c_J とする。 c_0 は出力素子における閾値に相当する。出力を y とすると以下の式で表現される。

$$y = c_0 + \sum_{j=1}^J c_j \left(\prod_{i=1}^I x_i^{w_{ij}} \right) \quad (1)$$

数法則ニューラルネットワークにおいては、通常のBP法による損失の最小化が非常に困難なため、準ニュートン法を枠組みとした学習アルゴリズムBPQを利用する。多変数関数の極値を求める方法であり、2次微分の逆行列の近似値から、方程式の解となるパラメータを求める方法である。

3.2 数値実験

日報データにおける爆気時間に関する項目を用い、数法則ニューラルネットワークによって関係性を示す式を求める。データ項目間の相関に基づいて、処理水、塩素注入量、塩素注入率、返送汚泥量、返送汚泥率、最初沈殿池沈殿時間、それぞれを x_1, \dots, x_6 とおく。

利用する日報は、住宅地の有する人口が2万程度の下水を扱う処理場のデータで、期間は平成27年4月から平成31年3月である。中間素子数については、データ数の少なさと試行実験でもあるので素子数を1とした。この場合の数法則モデルは以下の式となる。

$$y = c_0 + c_1 \left(\prod_{i=1}^6 x_i^{w_i} \right) \quad (2)$$

このモデルを基準に数法則ニューラルネットワークを準ニュートン法により各年度のデータで学習を行った。その結果を表1に示す。4か年度の全データによって得られた結果においては、 w_2 および w_3 が他と比較して極端に小さな値となった。すなわち、6項目のうち、塩素注入量、塩素注入率は爆気時間への関与が非常に小さく、処理水、返送汚泥率、最初沈殿

池沈殿時間に比例し、返送汚泥量には反比例の傾向にある。これはあくまで数値モデルによる結果である。

表1：学習によって得られたパラメータ

| Year | H27 | H28 | H29 | H30 | 4years |
|-------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| c_0 | 0.52×10^{-3} | 0.68×10^{-3} | 0.16×10^{-2} | 0.54×10^{-3} | 0.20×10^{-4} |
| c_1 | 0.125 | 0.125 | 0.120 | 0.190 | 0.146 |
| w_1 | 0.45 | 0.52 | 0.43 | 0.53 | 0.41 |
| w_2 | -0.22 | -0.24 | 0.23×10^{-4} | -0.22 | 0.30×10^{-6} |
| w_3 | 0.22 | 0.24 | -0.27×10^{-4} | 0.22 | 0.40×10^{-6} |
| w_4 | -0.30 | -0.17 | -0.30 | -0.30 | -0.22 |
| w_5 | 0.30 | 0.17 | 0.22 | 0.30 | 0.22 |
| w_6 | 0.94 | 1.10 | 1.21 | 1.02 | 1.19 |

このようなAIの活用によるデータ分析システムを図2に示す。総合化された下水処理のデータウェアは、地域特徴に対応した下水処理モデルのための研究開発の出発点に役立つものと考えている。

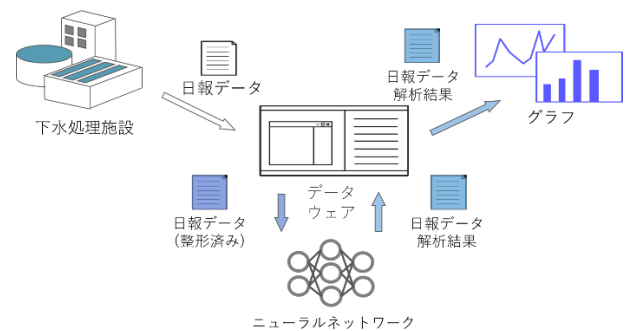


図2: 下水処理モデルのためのデータウェア

4 おわりに

脱ブラックボックス的なAIのひとつである数法則手法によって、日報データにおける関係性の分析が可能であることが示された。今後の課題としては、複数の下水処理施設において同様な解析を行うことで、定数項を含めたパラメータに基づく地域特徴との対応の解析などがある。

文献

- [1] 斉藤和己, 中野良平, “コネクショニストアプローチによる数法則発見,” 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 9, pp. 1708-1716 (1996)
- [2] 味埜 俊, “活性汚泥モデル,” 国際水協会・生物学的廃水処理の設計および運転を支援するための数学モデルに関するタスクグループ発行 (2005)

太陽熱・地熱を利用した温度差発電システムの開発

関根ちひろ*1, 中村祐揮*2

1 はじめに

現在、再生可能エネルギーとして太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などが注目されているが、半導体材料を用いて熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換する温度差発電(熱電発電)は、未利用熱エネルギーを有効利用できる有力な発電方法の一つである。熱電発電は、蒸気でタービンを回す従来の発電方法に比べて施設が小規模で済む上、二酸化炭素や放射性物質も排出しない安全・安心な発電技術である。原発の安全性への信頼が大きく揺らぐ中、このようなリスクの少ない環境に優しい発電方法は重要性を増している。しかし、熱電発電は、火力、原子力発電の発電効率30~60%などに比べて、5%と大幅に低いためコストが高く、現在の用途は、惑星探査機の電源などの特殊分野に限られ、コストが重視される一般社会での実用化には至っていない。このような状況の中、2018年9月6日の北海道胆振東部地震により起きた北海道全域の停電“ブラックアウト”を契機に、このような事態に備え、緊急時のバックアップ電源システムの確保の必要性が高まっている。本研究では、他の再生エネルギーに比較し、効率は低いものの、天候に左右されず、温度差さえ与えることができれば安定して発電が可能であるなど、多くの利点がある熱電発電に着目し、現段階で最も高い性能を持つ実用材料(Bi-Te系材料)を用いた熱電変換モジュールを使用し、1) 温泉地や電力インフラの未整備地域において、太陽熱・地熱・温泉水等の未利用熱源を利用した温度差発電システムの実

*1: もの創造系領域電子デバイス計測ユニット

*2: 株式会社フェローテックホールディングス

用化に向け、小規模な発電システムの開発とその実証実験を行うこと、2) 緊急時のバックアップ電源システ

ムとして、小型で可搬式の温度差発電システムを開発することを目的とした。

2 温泉水を利用した温度差発電の実証実験

実証実験用に、フェローテック社製の熱電変換モジュール(サイズ: 55 mm×55 mm×3.8 mm) 12枚を用いて、温度差発電システムの試作機を作製した。図1に作製した温度差発電システムの試作機のプロットと実際の装置の外観を示す。温泉水を入れるアルミ製のタンクと空冷用のヒートシンクの上にモジュールを積み込み、モジュールの両面にはシリコングリスを塗り、ワイヤーでタンクに固定した。

実証実験は、タイのチェンマイ大学の協力を得て、タイ北部メーホンソン県にある天然温泉「プークロンマッドスパ(Phu Klon Mud Spa)」において行った。図2に実験の様子を示す。使用した温泉水の温度は72~76°C、測定時の気温は35°Cであった。実験は温泉水をタンクに注ぎ込み、モジュールの高温側および低温

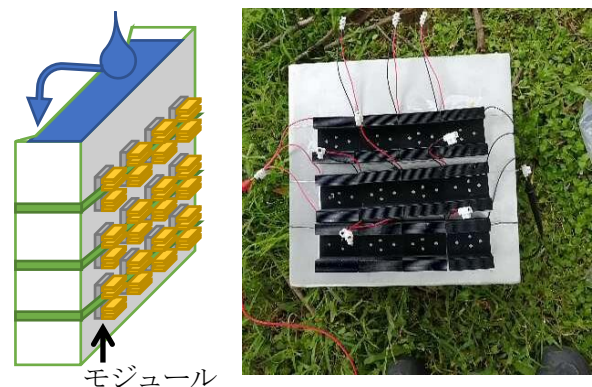


図1 温泉水を用いた温度差発電システム試作機のプロットと装置外観



図2 温泉水を用いた実証実験の様子

側の温度を熱電対で、発電量をデジタルマルチメータで測定した。タンクが温泉水で満水になるとタンクの切り欠き部分から外に排水するようになっている。図3に温度差に対する電圧の測定値を示す。温度差30℃で9V程度の値が得られている。発電量としては10W程度であることが確認できた。今回の実験では、モジュールの冷却側を空冷としたが、近くに川が流れており、川の水を冷却側に使用することで、さらに温度差

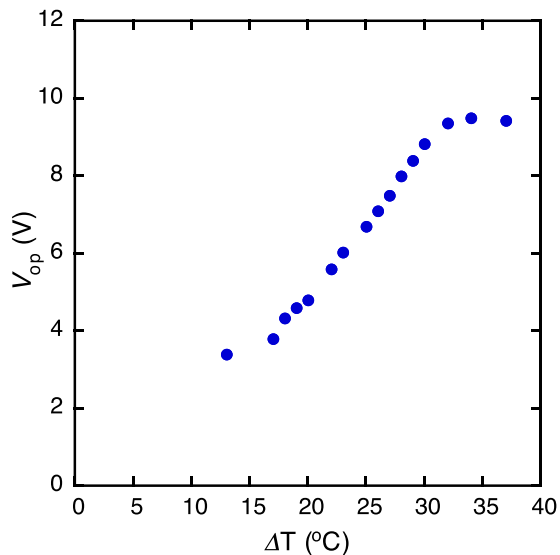


図3 モジュール6枚を直列に接続したものを2組並列につないだ場合の温度差に対する発生電圧

を大きくし、発電量を増やすことが可能であると考えている。

3 薪ストーブ用温度差発電装置の開発

北海道全域で発生した大規模停電（ブラックアウト）は、震源地に近い火力発電所が機器の損傷により停止したことに端を発し、電力の需給バランスが崩れ、安全装置の作動により、電力系統（電気のネットワーク）を構成する多くの発電所が連鎖的に停止したことが原因であった。火力発電所だけではなく、水力発電所、風力発電所も停止した。この経験を踏まえ、現在、経済産業省が開催する総合資源エネルギー調査会 電力・ガス基本政策小委員会と産業構造審議会 電力安全小委員会の下に、新たに「電力レジリエンスワーキンググループ」が設置され、災害に強い電力の供給体制を構築するための課題や対策について、工学、法律、防災分野などの専門家が集い、議論されている⁽¹⁾。電力レジリエンス向上に寄与できる手段の一つとして、小規模な分散型電源の開発は不可欠であると考えられる。

北海道電力の迅速な復旧作業により、発生から2日後

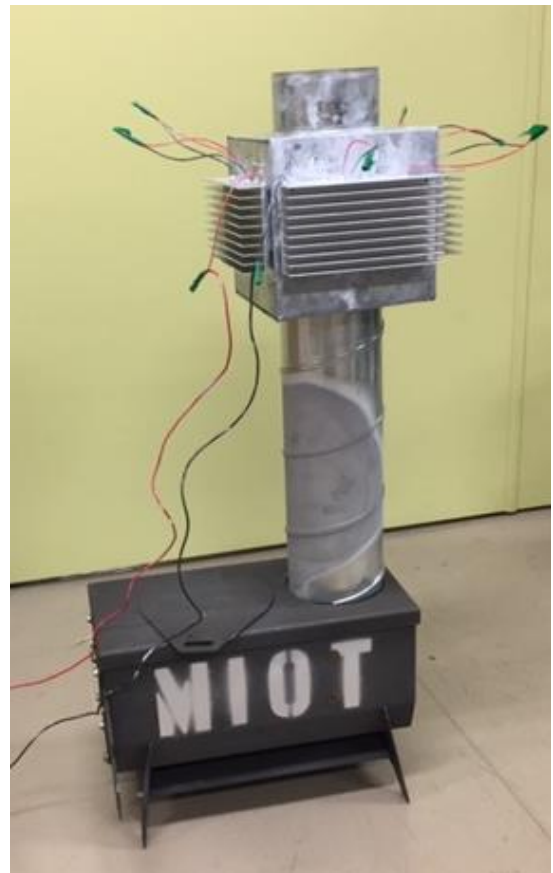


図4 モジュール8枚を直列に接続した試作機を煙突に装着した様子



図5 試作機を用いた実証実験の様子

には、多くの世帯で電力が回復したが、北海道では今まで経験したことのない長時間にわたる停電で、多くの人々が不安を抱えて過ごすこととなった。今回の経験は、今日の私たちの生活の中で電気は、常に安定に供給され、空気のようにあたりまえにある存在のように感じているが、自然災害等により、電気のある、あたりまえの生活ができない事態が起こり得ることを再認識させた。

そこで、夜間のLED照明と携帯電話・スマートフォ

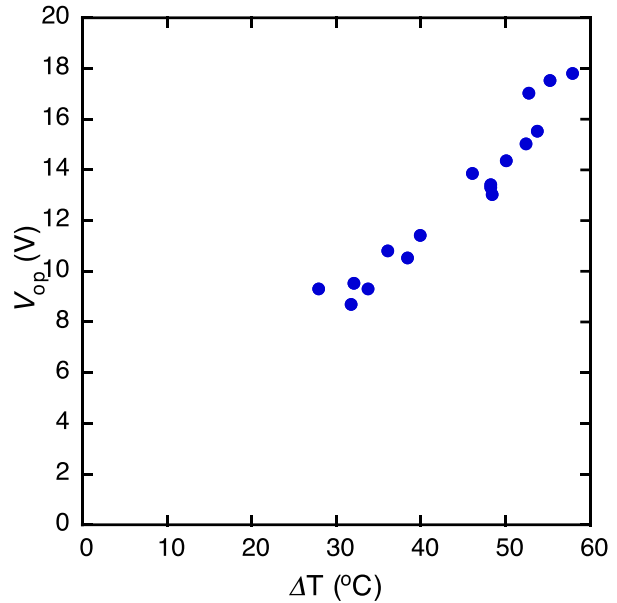


図6 モジュール8枚を直列に接続した場合の温度差に対する発生電圧

ン、タブレット、ノートPCなどの充電が可能な最小限の電力(5W~20W)を供給できる熱電発電システムのプロトタイプを開発を目指した。土砂崩れや津波などにより地域が孤立する事態も想定し、そのような状況でも入手可能な物資を用いて発電するために、無煙薪ストーブを熱源とした8個の熱電変換モジュールを用いた実証実験用の温度差発電システムの試作機を開発した。無煙薪ストーブは、燃料として、木材を用いるが、その種類を選ばず、災害時でも、廃材や流木でも利用できる利点がある。熱電発電システムは、ストーブの煙突部分に装着し、着脱可能なものとした。発電用のモジュールは、温泉水を利用した温度差発電システムで使用したものと同様であり、冷却は放熱フィンを利用した空冷式とした。基本的な構造は、温泉水を利用した温度差発電システムと同じである。

図4に開発した温度差発電システムの試作機を無煙薪ストーブに装着した様子を示す。また、図5に実証実験の様子を示す。熱電対、デジタルマルチメータ等を用いて、発電能力を評価した。無煙薪ストーブの煙突部分の温度は最高200°C程度まで上昇するが、今回用いたモジュールは180°C付近が耐熱限界であるため、それ以下の温度となる煙突部分に発電システムを装着した。今回の実験では、モジュールの高温側の温度を110°C程度までとした。低温側は、高温側からの熱の流入により、時間経過とともに温度が上昇し、最大の温度差は、60°C程度に留まった。図6に、モジュール8枚を直列に接続した場合の温度差に対する発生電圧

を示す。温度差 60°C で 18 V 程度の値が得られている。発電量としては 5 W 程度であることが確認できた。

この発電システムは、2019 年 9 月 28 日に北海道庁赤れんが庁舎前にて行われた「農業・農村ふれあいフェスタ」および 2019 年 10 月 18 日に紋別市生涯学習センターで行われた防災宿泊訓練において、LED 照明の点灯、スマートフォンへの充電のデモンストレーションに用い、市民から大きな関心を集めた。

今後、小型で軽量な、持ち運びが可能なモバイル発電システムとして製品化を目指す。各自治体で、この発電システムを保有することで、災害時の炊き出し用の熱源と同時にバックアップ電源として活用できる。また、災害時ではなくても、野外でのバーベキューなど、アウトドアでの活用などレジャーの面での需要も見込める。

4 おわりに

本研究開発では、タイにおいて温泉水を用いた熱電発電の実証実験および薪ストーブ用の熱電発電システムの試作機を開発し、その性能を評価した。今後は、本研究で得られた基礎データを基に、システムの改良、最適化を行い、製品化に向けた研究開発を継続する。また、緊急時のバックアップ電源としての熱電発電システムは、将来的には、我々が別途、研究開発を続けている新材料（高温高圧合成法で作製するスクッテルダイト系材料）⁽²⁾⁽³⁾を用いた高性能モジュールに置き換えることにより、さらに高性能な発電システムの開発を進めることが可能となる。さらに、発電システムの高性能化により、分散型電源として電力レジリエンスの向上にも貢献できる。3.11 以降の原子力発電の停止にともない、化石燃料を利用する火力発電の比率が高まっており、地球温暖化ガス増加の加速化が懸念される。この対策として、今後、ますます太陽光、風力、地熱発電などの再生可能エネルギーの重要性が高まってくるものと考えられる。熱電変換材料を用いた温度差発電は、単純な構造のモジュールを用いることで、二酸化炭素の排出もなく、温度差さえあれば発電が行える安全で環境にやさしい夢の発電技術であるといえる。本研究開発で進める技術は、地域の地熱資源の有効活用にも応用可能であり、持続可能な社会の構築につながる。

また、高効率熱電変換システムの確立により、化石燃料を利用する発電の比率を低下させ、環境調和型社会の実現、豊かな生活環境の構築に寄与できる。さらに、本研究で開発したシステムは、電力インフラが十

分に整備されていない地域（タイなどの東南アジア地域）でも、重要性が高く、これらの地域のエネルギー問題解決に貢献できるものと考えている。

さらに、本研究で開発する熱電発電システムは温度差を与えるだけで、発電できるため、様々な熱源の利用が可能である。例えば、北海道内の温泉地や電力インフラの未整備地域において、温泉水や太陽熱を利用した発電も可能である。さらに、高温熱源の利用ばかりではなく、液化天然ガス（LNG）のような極低温の熱源も利用可能である。つまり、LNG（-162°C）と海水（数°C～十数°C）の温度差で熱電発電が可能であり、今後、ベーパーライザーへの搭載など、さらなる事業化へと発展する可能性を秘めている。

文献

- (1) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会/産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 合同 電力レジリエンスワーキンググループ第 1 回議事録 (2018.10.18)
- (2) Y. Chen, Y. Kawamura, J. Hayashi and C. Sekine, *Jpn. J. Appl. Phys.* **55** (2016) 04EJ02.
- (3) Y. Mona, J. Hayashi, Y. Kawamura, K. Kihou, H. Nishiate, C. H. Lee, C. Sekine, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57** (2018) 125506.

凍結防止剤散布車の洗淨作業の軽労力化に関する調査

花島 直彦*1, 長谷 隆功*2, 喜多 俊平*3, 小川 雅敏*3

1 はじめに

高速道路における交通の安全を確保するためには、日頃の維持管理を欠かすことができない。特に、冬場の道路の凍結はスリップ事故を誘発する可能性が高く、除雪作業や凍結防止などの対策がとられている。

凍結防止のためには水が凝固する凝固点を下げる凍結防止剤の散布が有効である⁽¹⁾。北海道の高速道路では凍結防止剤として塩化ナトリウムを用い、散布車を使って路面に散布している。塩分により車体が錆びるのを防ぐため、散布車が出動するたびに洗車を行っている。洗車作業は路面凍結がおこる厳寒期に屋外で行われるため、作業員への負担が大きい。塩化ナトリウムを投入するバケット内も洗淨するため、高所作業車の上で、防寒具を着込んだ状態で、高压洗淨ノズルを操る必要があり、安全面でも課題のある作業である。このことから、洗車作業にかかる労力を軽減し安全性を高めることに要求がある。

2 調査研究の概要

凍結防止剤散布車の洗淨作業は、高所からの転落や、高压洗淨ノズルからの反力による転倒などのリスクがある。このため、作業の安全性を確保しつつ、洗淨作業の労力を軽減する要求がある。本研究がプレ共同研究であることを鑑み、本格的な共同研究の準備を進めるため、軽労力化のための方向性を検討することを目的とした。

洗淨作業を支援する装置の開発を最終的なゴールとし、そのような装置に求められる機能を調査し、技術的な仕様を明らかにする。プレ共同研究開始時に想定していたのは、クローラ式電動リフトにマニピュレータを搭

載し、その先に高压洗淨機のノズルを取り付けた構成の装置である。そのような装置に必要な条件を明らかにするため、作業員あるいはノズルの3次元的な動作解析から、マニピュレータに必要な動作の自由度や可動範囲について考察する。



図1 凍結防止剤散布車の洗車のような

3 洗車作業の3次元動作解析

3.1 3次元動作データ取得装置の選定

図1のとおり、洗車作業は屋外で行われ、高压洗淨ノズルからの水が車体に跳ね返り大量の水しぶきが生じる。このような環境下で作業員あるいはノズルの動きを3次元的に計測する装置の選定をした。

作業が屋外で高所であることや予算面などの制約から、大掛かりで高価なモーショントラッキングシステムは選定の候補には含めないことにした。また、安価なカメラを複数設置して多視点画像を取得し、画像処理により3次元座標を取得する方法もあるが、ソフトウェアの開発に時間を要するため、プレ共同研究の期間内に動作解析を終了することが難しいと判断した。一方で、VR技術を利用したゲームソフトが市販され、その入力装置として、3次元位置を取得する装置が、安価に入手できるようになっている。このような観点から、次の3つの入力装置を候補として検討した。

3.1.1 POZYX (Pozyx Labs 社製)

超広帯域無線通信技術(UWB)により、cm単位の精度

*1: もの創造系領域ロボティクスユニット

*2: 大学院生産システム工学系専攻博士前期課程

*3: 株式会社ネクスコ・メンテナンス北海道

で三次元位置測定が可能な位置測定デバイスである。公式には室内用とされているが、電波が遮られなければ屋外で使用できる。アンカーと呼ばれる装置を、測定領域を取り囲むように4隅に配置して、その範囲内にあるタグと呼ばれる装置の3次元位置を計測する。最小構成でも、20m四方の広さをカバーでき、装置を数を増やして拡張すれば、理論的には無制限の広さをカバーできる。

今回は最小構成の機材を用意して、実験室内で位置測定を試みた。アンカーを約2m四方の4隅に配置し、Pozyx Creator Controller という公式のアプリケーションを用いて、アンカーのキャリブレーションを行った。そのあと、タグの電源を投入し、タグの位置を固定してその位置情報を取得した。そのようすを Pozyx Creator Controller に表示した結果を図2に示す。4つの×印がそれぞれアンカーであり、中央付近にある軌跡がタグの位置である。タグを固定したにもかかわらず、数10cmの範囲で動いている。このように、表示される座標の値が安定せず、ばらつきが生じるという結果になった。後日、POZYXを使用している研究者に確認したところ、今回設定した測定範囲が狭すぎて計測がうまくいっていないのではないかとのことだった。また、Pozyx Creator Controller の実行にはインターネット環境が必要であること、アンカーにそれぞれ電源が必要となることなど、実際に屋外で使用する際の懸念もあったため、POZYXの採用は見送ることにした。



図2 Pozyx Creator Controller の画面

3.1.2 RGB-D センサ

マーカーを使用せずにカラーカメラと深度カメラを併用して3次元計測を行える装置に RGB-D センサがある。これを用いて骨格推定し、作業員の動作を計測することを考える。

RGB-D センサにはいくつか製品があるが、ここでは横 99mm、縦 25mm、高さ 25mm と非常にコンパクトであり、USB 給電ができる RealSense D435i (Intel 社製) の使用を検討した (図3)。このセンサの計測範囲は奥行き方向に 0.2m から 10m、視野角が水平 87 度、垂直

58 度となっており、今回想定する動作範囲を十分カバーできる。RealSense を用いて骨格推定を行う SDK として 3DiVi 社の NuiTrack を使用した。ソフトウェア開発環境には Unity (Unity technologies) を採用し、Unity 用のアセットである NuiTrack Skeleton Tracking を利用して、Windows 上でプログラムを作成した。これにより、関節の三次元位置をデータとして取得できる。

以上の構成で、実験室内にて骨格推定を試行した。その結果、うまく骨格推定ができていたときもあれば、全く骨格とは異なる位置を算出することもあった。大まかに骨格データを取得できれば良いという用途であれば問題ない精度と考えられるが、本研究では、限られた時間内に確実にデータ取得をする必要があったため、信頼性の観点から、RGB-D センサの使用は見送ることにした。



図3 RealSense D435i^[2]

3.1.3 VIVE Tracker (HTC Corporation 社製)

VIVE はヘッドマウントディスプレイとモーショントラッキング機器 VIVE Tracker を組み合わせた、コンシューマー向けの VR ユーザーインターフェース装置である。VIVE Tracker のみでも入手可能であり、これとパソコンをドングルにて無線接続することで、VIVE Tracker の3次元位置データが取得できる。データを取得できる範囲は 6m 四方と、POZYX に比べれば小さいが、今回の洗車作業はこの範囲に収まる。静止時の位置の計測精度は 1mm 以下との報告もあり、本研究の目的には十分な性能であると判断できる^[3]。VIVE のモーショントラッキングには赤外線を使用しており、直射日光は誤動作の要因となるはずであるが、事前の検証では屋外においても3次元位置情報が取得できた。

VIVE Tracker の利用イメージは、3.1.1 で検討した POZYX と類似している。図4に VIVE Tracker の機材と計測範囲の関係を示す。2台一組の Base station は計測範囲を挟むように対向して設置される。Base station からは平面状の赤外レーザー光が左右あるいは上下にスイープ照射される。VIVE Tracker に内蔵された複数の光センサがこれを受光すると、2台の Base station からみたヨー角とピッチング角がそれぞれ計測できる。これにより位置座標と姿勢角度が計算される。それぞれの機器はパソコンと無線通信で結ばれ、パソコン上のアプリケーションでそれぞれの接続状態などを確認

できる。VIVE Tracker はバッテリー駆動されるので、計測対象に電源ケーブルなどを配線する必要はない。このトラックを作業員ではなく、高圧洗浄ノズルに取り付けることで、作業員がそれをどのように動かしているのかを記録できる。

以上のことから、本研究の動作取得装置として VIVE Tracker を採用することにした。

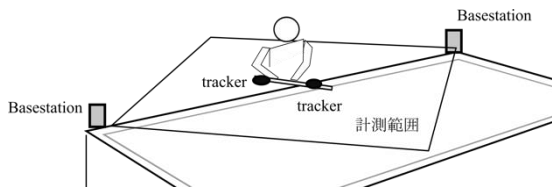


図4 VIVE Tracker の計測範囲

3.2 動作計測実験

実際に凍結防止剤散布車の洗車作業を VIVE Tracker を用いて計測する実験を行なった。

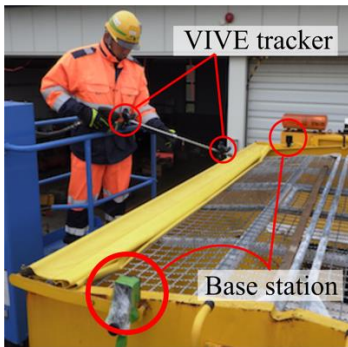


図5 車両上面における動作計測のようす

図5に VIVE Tracker と Base station の配置を示す。高圧洗浄ノズルの位置と姿勢がわかるように2台の VIVE Tracker をノズルの手元側と先端側にそれぞれクランプで固定した。凍結防止剤を導入するバケットの縁に、2台の Base station をお互いに対向させてクランプで固定した。Base station 間の距離は 3360mm であり、装置の有効計測範囲内となっている。Base station は AC アダプタから給電をする必要があったため、水しぶき対策として正面以外をビニールで囲った。なお、正面をビニールで覆った場合は誤動作を起こした。

計測実験は、まず高圧洗浄ノズルから水を放水して行なった。計測を開始する前はデータを取得できたが、計測を開始して間もなくするとデータが途切れる現象が発生した。パソコンのアプリケーションや装置自体を再起動しても状況が改善しなかったため、水の放水を止めて、洗車の動作のみを作業員に再現してもらった。そうすると、データは途切れることなく測定することができた。水は赤外線を吸収する性質を保つため、霧状の少量の水分でも、計測に影響したようだった。

車両上面の計測後、車両側面の洗車作業のデータも取得した。図6のように Base station を固定し、放水をせずに洗車作業を再現してもらった。



図6 側面における動作計測のようす

3.2 3次元動作解析

計測した2つの VIVE Tracker の位置データを直線で結ぶことで、高圧洗浄ノズルの位置と向きを表示することができる。図7はこのようにして描いた、車両上面を洗浄したときの、高圧洗浄ノズルの軌跡である。

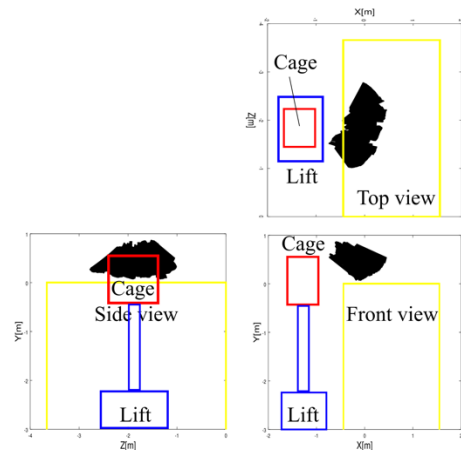


図7 上面洗浄時のノズルの動作軌跡

黄色いラインはバケット部、青い枠は高所作業リフト、赤い枠は作業員が乗るカゴ、黒い領域がノズルの軌跡を表している。それぞれ、正面図(右下)、平面図(右上)、側面図(左下)を示している。正面図よりバケットの中を洗浄するために、ノズルは基本的に下向きであることがわかる。平面図より高所作業リフトは高所作業時には移動ができないので、1箇所から左右にノズル先端を動かしているようすもわかる。しかしながら、ノズルの動作軌跡は単純な扇型になっていくわけではなく、手元の位置も前後上下左右に動いている。図8に手元位置のみをプロットしたグラフを示す。左右前後に1m程度、縦方向には0.5m程度の動作範囲があることがわかる。これらのことから、ノズルの位置と姿勢の自由度はそれぞれ3自由度と2自由度、合計で5自由度である。よってノズルを動かすコンピュータには5自由度以上のものを用いるのが望ましい。

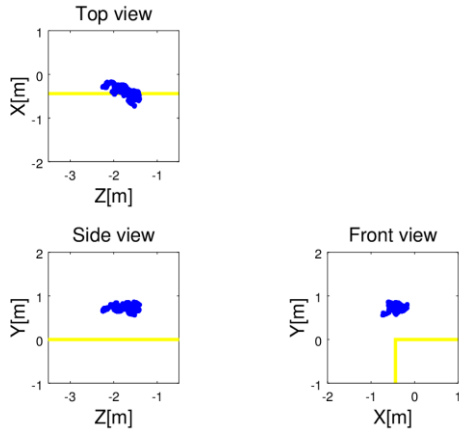


図8 上面洗浄時の手元位置の軌跡

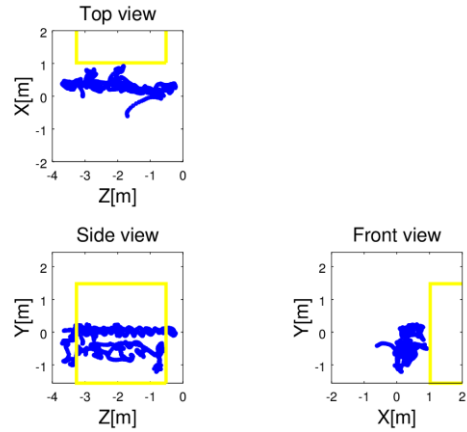


図10 側部洗浄時の手元位置の軌跡

同様に、側面を洗浄したときのノズルの動作軌跡を図9に示す。このとき作業員は、地上に立って左右に移動しながら洗車した。側面図より、洗車位置はバケット側面である上段と、車体の足回りである下段に、大きく分かれている。上段については高圧洗浄ノズルを上下に動かしながら横移動しており、下段についてはノズルをタイヤハウスの中で動かしている。正面図をみると、上段についてはノズルを基本的に上向きに、下段については横向きに使用しているようすもわかる。特にタイヤハウスの中ではノズル先端を奥に差し入れていることもわかる。

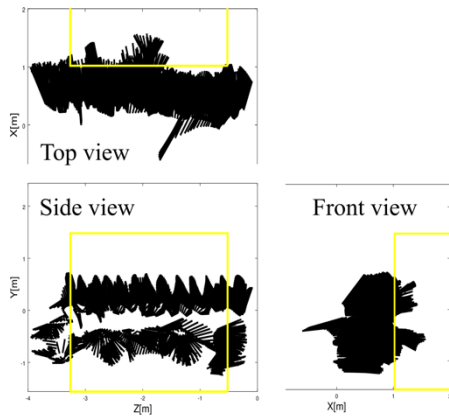


図9 側面洗浄時のノズルの動作軌跡

図10に手元位置のみをプロットしたグラフを示す。側面図より左右方向に4m程度移動している。前後方向の動きは図8と同様に1m程度であるが、縦方向には3倍の1.5m程度動いていることがわかる。ノズルの位置と姿勢の自由度は図7のときと同様であるので、ノズルを動かすマニピュレータには5自由度以上のものを用いるのが望ましい。さらに、左右方向の大きな可動域は移動台車の利用が適当である。

4 ノズルを操作するマニピュレータの候補

前節の結果を受けて、高圧洗浄ノズルを操作するためのマニピュレータの候補をあげる。図7より必要な水平方向リーチはおよそ0.8m、垂直方向リーチはおよそ1.5mが必要であると判断できる。ノズルの動作軌跡が扇状であることから、ベースの関節が水平に旋回する垂直多関節型ロボットが望ましい。例えば、ヤマハ発動機のマニピュレータであれば、表1の右から2機種が適当と考えられる。このロボットの軸数は6であり、5自由度以上の条件を満たす。この他には、塗装用のマニピュレータは、塗装用のスプレーを自在に操るのに特化した構造を持っており、高圧洗浄ノズルのハンドリングに通じるところもある。例えば表2のような機種が候補となる。なお、表2の最大リーチは表1の水平リーチと同じものである。

車両上面の洗浄については、地上高3mほどの昇降が必要であるので、第2節で述べたようにクローラ式電動リフトの使用が望ましい。移動可能なリフトを用いることで、図9側面図のように左右方向の大きな移動も実現できる。例えば、表3のアイチコーポレーションのスカイタワー RM05C1NSなどが候補となる。

5 おわりに

本研究では、洗浄作業を支援する装置の開発を最終的なゴールとし、そのような装置に求められる機能を調査した。クローラ式電動リフトにマニピュレータを搭載し、その先に高圧洗浄機のノズルを取り付けた構成の装置を想定し、高圧洗浄ノズルの3次元的な動作解析から、いくつかマニピュレータの候補をあげた。今後は、高圧洗浄ノズルの反力などについても検討し、より具体

的な提案をすることが望まれる。

文献

- (1) 木村恵子, 曾根真理, 並河良治, 桑原正明, 角湯克典, 凍結防止剤散布と沿道環境, 国総研資料第 412 号, 2007, pp.13-18
- (2) 持田圭祐, 小型 RGB-D センサを用いた可搬型運動機能評価システムの開発, 令和元年度室蘭工業大学卒業論文
- (3) M. Borges, A. Symington, B. Coltin, T. Smith, and R. Ventura, HTC Vive: Analysis and Accuracy Improvement, 2018 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018

表 1 ヤマハ発動機 YA シリーズ
(写真はカタログより転載)

| 型番 | YA-R5LF | YA-R6F |
|-------|---|---|
| 軸数 | 6 | 6 |
| 可搬質量 | 5kg | 6kg |
| 垂直リーチ | 1560mm | 2486mm |
| 水平リーチ | 895mm | 1422mm |
| 旋回範囲 | -170° ~ 170° | -170° ~ 170° |
| 本体質量 | 29kg | 130kg |
| 電源容量 | 1.0kVA | 1.0kVA |
| 外観 |  |  |

表 2 安川電機 MOTOMAN-MPX シリーズ
(写真はホームページより転載)

| 型番 | YR-MPX1150 | YR-MPX1950 |
|-------|--------------|--------------|
| 軸数 | 6 | 6 |
| 可搬質量 | 5kg (手首部) | 7kg (手首部) |
| 可搬質量 | 1kg (アーム部) | 3kg (アーム部) |
| 最大リーチ | 727mm | 1450mm |
| 旋回範囲 | -170° ~ 170° | -170° ~ 170° |
| 本体質量 | 57kg | 265kg |
| 電源容量 | 1.0kVA | 2.5kVA |



表 3 アイチコーポレーション スカイタワー
(写真はホームページより転載)

| 型番 | RM05C1NS |
|---------|--|
| 可搬質量 | 200kg |
| 最大地上高 | 4.8m |
| 最低地上高 | 0.57m |
| 昇降方式 | 直伸 5 段マスト式 |
| 架装対象車 | クローラ |
| 駆動方式 | AC 電動モーター |
| バッテリー電圧 | DC24V |
| バッテリー容量 | 90Ah |
| 車両質量 | 800kg |
| 外観 |  |

木質系バイオマス燃焼灰の新規利用法に関する研究

澤田紋佳*1, 山中真也*1, 成田貢*2, 佐々木一*2

1 はじめに

平成29年度の1年間にエネルギーとして利用された木質系バイオマスの量は、全国で年間1000万トンを超える(H30・12月公表「農林水産省木質バイオマスエネルギー利用動向調査」より)。数万トン発生する燃焼灰について、その主たる処理方法は「産業廃棄物として処理する」となっており、これは恐らく、原料バイオマスに含まれる重金属類が灰に濃縮されているためと考えられる。もし、農業用資材などの新規活用法を見出せば、処分について悩んでいる現状を打破できると考えた。

本研究では、木質系バイオマス燃焼灰の新規活用法の探索として、ゼオライトの再合成材料への適用と待ち受け消毒用資材としての利用について検討した。

2 ゼオライト再合成材料への適用

2.1 背景

ゼオライトは結晶性のアルミノシリケートであり、細孔構造を有することから比表面積が大きい。ゼオライトはこの性質を使用し、吸着剤や触媒材料として広

く利用されている。ゼオライトの合成には、一般に構造の骨格になるシリカ源およびアルミナ源と触媒剤としてアルカリ金属の水酸化物が使用される。木質バイオマス燃焼灰にはカリウムが多く含まれており、ゼオライト合成のアルカリ源として使用できる可能性がある。また、天然ゼオライトは全国各地で産出されており、北海道でも仁木町をはじめ採掘が盛んであるが、用途の拡大が課題となっている。天然ゼオライトの構造は塩基性溶液中で溶解し、シリカ源およびアルミナ源として使用できることが報告されており、再合成の検討が行われている^{(1), (2)}。

そこで、本研究では北海道産天然ゼオライトと木質系バイオマス燃焼灰を用いて、ゼオライトの溶出および再合成条件の検討を行った。

2.2 実験方法

原料には、北海道産天然ゼオライト(NZ)および木質系バイオマス燃焼灰を使用した。ゼオライト溶出用分散液には、ゼオライト：アルカリ源(燃焼灰)：水 = 1：5：50(重量比)を基準⁽²⁾に調製し、水熱処理後にろ過し、ろ液(ゼオライト溶出液)を得た。また、再合成⁽²⁾には、アルミナ源として硫酸アルミニウムを用いて、Al水溶液はNaCl：Al₂(SO₄)₃：H₂O = 1：5.4：10(重量比)の組成で調製し、Al水溶液：ゼオライト溶出液 = 1：5.6(重量比)で混合し水熱処理を行った。溶出および再合成の水熱処理は、耐圧ポータブルリアクターを用いて90℃で1-24h保持を行った。ゼオライト溶出後に得られたろ紙上残留物および再合成生成物はX線回折(XRD)パターンを測定し、結晶状態の確認を行った。

2.3 実験結果および考察

まず、ゼオライト水熱処理に対する燃焼灰の添加効果について検討した。図1に燃焼灰の添加量を3-8gで変化させたときに得られたろ紙上残留物のXRDパターンを示す。ろ紙上の残留物に含まれる天然ゼオラ

*1：しくみ解明系領域物質化学ユニット

*2：ナラサキスタックス株式会社

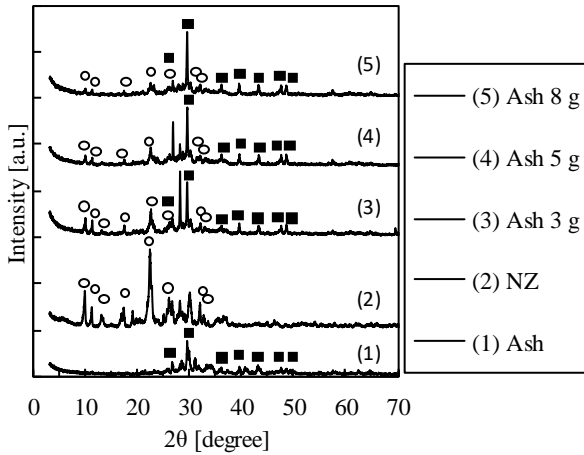


図1 燃焼灰添加量の異なる天然ゼオライト水熱処理で得られたろ紙上残留物のXRDパターン
○：クリノプチロライト由来，■：燃焼灰由来

イトの主成分（クリノプチロライト，CLI）のピーク強度が低下すれば，ろ液に含まれるゼオライト溶出量が多いと推測できる．燃焼灰を添加することでCLI（○）のピークは著しく低下した．また，燃焼灰の添加量を増やすことでCLIの溶出促進を試みたが効果は得られず，5g以上で同等のピーク強度を示した．したがって，CLI成分の溶出には燃焼灰5gが最適であることが明らかとなった．さらに，燃焼灰添加後の水熱処理時間の最適化を行ったところ（図2），1h以上処理をしてもピークに変化はなかった．したがって，ゼオライト再合成処理には溶出処理を1h行ったろ液を使用した．

図3に，ゼオライト再合成（水熱処理24h）で得られた生成物のXRDパターンを示す．処理時間は2-24hで変化させたが，いずれも硫酸カルシウムおよび炭酸カルシウム（カルサイト）や硫酸アルミニウムの生成を確認したが，ゼオライトの生成は確認できなかった．ケイ素が含まれる化合物が生成していないことから，ゼオライト溶出液中のケイ素成分が少ないこと，および再合成が進行するのに適したpH条件になっていな

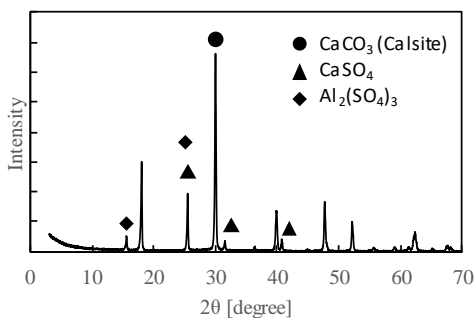


図3 ゼオライト再合成処理で得られた生成物のXRDパターン

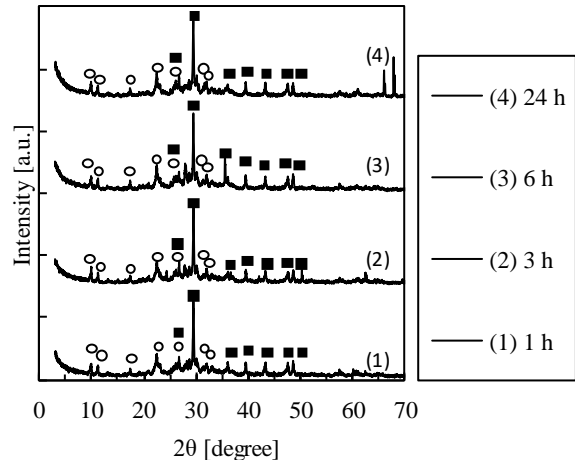


図2 処理時間の異なる燃焼灰添加天然ゼオライト水熱処理で得られた残留物のXRDパターン（燃焼灰5g）

いことなどが原因として考えられる．燃焼灰を用いたゼオライトの溶出と再合成では濃度管理が難しく，より詳細な条件検討が必要であると言える．

3 待ち受け消毒用資材への利用可能性

3.1 背景

2018年9月，国内では26年ぶりにCSF（豚コレラ）が発生し，今なお終息に向けた努力が続いている．過去にも，口蹄疫や高病原性鳥インフルエンザが発生し，そのたびに甚大な被害をもたらしてきた．

家畜伝染病対策は喫緊の課題である．現在，家畜伝染病防疫のため液状の消毒薬に加え固体の消石灰が併用されているが，消毒効力低下を判断できない，飛散するなど，使用に際し幾つかの課題があった．我々はこれを解決するため，攪拌造粒法により多機能性を付与した粒状消石灰の開発に取り組んできた．「多機能粒状消石灰」が普及すれば，視覚化により散布の過不足を防ぎ，緩効性の向上により散布間隔を延ばし，場所・場面等の用途に応じた効率的かつ効果的な散布を実現し，散布と管理が容易になる．これらは粉碎を製造原理とする既存の粉末，および粒状消石灰にはない特徴である．その結果，これまで以上に市場が拡大し，製造事業者にとってのメリットも大きいと考えている．

木質系バイオマス燃焼灰は，強アルカリを示すことから，消石灰を代替できる可能性がある．そこで，本研究項目では，pHとその持続性について評価するとともに

に、実用に向けた課題を検討した。

3.2 実験方法

家畜伝染病の原因となるウイルスや病原菌は、酸や塩基に弱く消毒に有効とされている。そこで、燃焼灰を懸濁した溶液の pH を消毒効力の指標として、消毒効力の評価を行った。北海道の年間降水量と等しくなるように毎日水を散布し、pH の変動を計測した。pH の測定は、土壌の一般化学性の pH 測定法に従って分析した[3]。具体的には、燃焼灰を 1 g 採取し、蒸留水を 2.5 mL 添加した。懸濁液を 1 時間静置し、上澄み液の pH を測定した。測定は 3 点行い、平均値を消毒効力の指標とした。

比較対象として、消石灰粉体を用いて同様に評価した。

3.3 実験結果および考察

pH の測定結果を表 1 と 2 に示す。燃焼灰の初期 pH (経過日数 0 日) は 12.78 であり、消石灰の 13.06 と同等であった。一般に、消毒効果の目安となる pH はアルカリ側で pH>9~10 と言われている。燃焼灰の pH は強アルカリ性を示したことから、消毒効果を有すると思われるが、これについては生化学的な検証が必要である。

表 1 燃焼灰の pH 変化

| No. of days [day] | pH [-] |
|-------------------|--------|
| 0 | 12.78 |
| 7 | 10.47 |
| 14 | 10.15 |
| 21 | 10.03 |
| 25 | 9.91 |
| 35 | 9.77 |
| 42 | 9.91 |

表 2 燃焼灰消石灰の pH 変化

| No. of days [day] | pH [-] |
|-------------------|--------|
| 0 | 13.06 |
| 7 | 12.85 |
| 14 | 12.97 |
| 21 | 11.28 |
| 28 | 9.77 |
| 34 | 9.29 |
| 46 | 9.30 |
| 49 | 9.29 |

pH=10 を上回る期間は、消石灰で 3 週間程度、燃焼灰で 2 週間程度となり、燃焼灰の方がわずかに短い。

さらに、燃焼灰は初期 pH から減少する速度も大きい。これは、燃焼灰中に含まれるアルカリ物質の含有量に起因すると推測される。今後、配合を工夫した粒状化により、緩効性を付与することが必要と考えられる。

重金属類を含むことから産業廃棄物として処理されていることを鑑みると、それらの溶出試験や、不溶化処理を検討することで、当初の目的を達成できると考える。

4 おわりに

本研究では、廃棄処分されているバイオマス燃焼灰の有効活用を目的に、吸着剤としての応用を志向するゼオライトの合成と、畜産用資材への利用可能性を検討した。その結果、いずれも前述した課題は残っているものの、解決に向けた対応策を提案した。

文献

- (1) A. Ates, Powder Technology, 344, p199-207.
- (2) M. Kamali et al., Powder Technology, 189, p52-56.
- (3) 北海道立総合研究機構農業研究本部, 土壌・作物栄養診断のための分析法 2012 (2012)

麻薬性のない新規ペプチド鎮痛薬の開発

中野博人^{*1}, 櫻田 忍²

1 はじめに

がん性疼痛に代表される重度の疼痛には現在モルヒネが汎用されている。モルヒネは強力な鎮痛作用を有しているが、麻薬性などの副作用を有する。さらにはがん性疼痛は、その性質が侵害性疼痛から神経因性疼痛へと変化する可能性が示唆されており、この神経因性疼痛はモルヒネに対する抵抗性を有する。**Dermorphin** は脳室内投与においてモルヒネの約1000倍の鎮痛活性を示し、N末端側のテトラペプチド部位がその活性に大きく関与することが明らかになっている (Fig. 1)。¹⁾ また **dermorphin** は、自然界において細菌類以外にほぼ存在していない D-異性体アミノ酸残基 (D-アラニン) を有していることから、生体内における酵素分解に抵抗性をもつ。²⁾ さらに、**dermorphin** の構造活性相関に関する研究によるとこの2位の D-アラニンを L-アラニンへと置換すると鎮痛活性がほとんど消失してしまうことから、2位の位置に D-異性体アミノ酸残基が存在することが **dermorphin** の鎮痛活性の発現に重要であると考えられている。³⁾

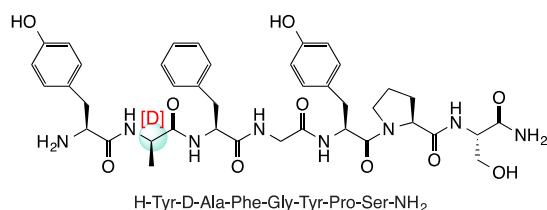


Figure 1. Dermorphin の構造

以上のような背景から本研究では、鎮痛作用の発現が期待され、モルヒネの副作用を軽減し、神経障

害性疼痛にも有効な化合物として、オピオイドペプチド構造とイソキヌクリジンかご型構造を融合した新規かご型 tetrapeptide **1** を分子設計し、その合成を検討した (Fig. 2)。

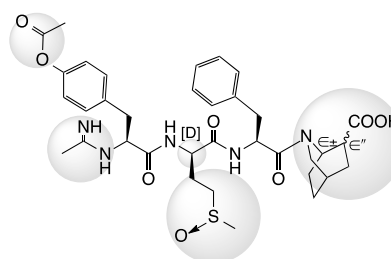


Figure 2. 新規かご型 tetrapeptide **1** の構造

化合物 **1** は、鎮痛活性の発現に有効な N 末端のイミノエチル基、チロシン残基と D-メチオニンスルホキシド残基を有する。また、C 末端にも活性の発現に有効な β-アミノ酸構造を含有し、立体的に嵩高く剛直で、良好な体内吸収が期待されるかご型構造を有する。化合物 **1** のこれら構造特性がオピオイド受容体との結合に大きく影響を与え、**dermorphin** の鎮痛活性を凌ぐ麻薬性の軽減された新規オピオイド鎮痛薬の開発に繋がることが期待される。

2 結果と考察

創製した鎮痛活性化合物 **1** の鎮痛活性を詳細に明らかにするためには、化合物 **1** を効率的に好収率で合成し供給できる合成法の開発が必要不可欠である。目的とするかご型テトラペプチド **1** の合成を以下の方法により検討した (Chart 1)。化合物 **1** の合成は、ペプチド部位とカゴ型部位に別けてそれぞれ合成した。L-フェニルアラニンメチルエステル塩酸塩 **2** と D-メチオニンスルホキシド **3** との縮合反応を行い N-Boc-ジ

*1: ぐらし環境系ユニット

*2: (株) 櫻田オピオイド研究所

ペプチドメチルエステル **4** を合成した. 続いて, 化合物 **4** の脱保護により生成したジペプチドメチルエステル塩酸塩 **5** と *N*-Boc-L-チロシン **6** との反応を行い *N*-Boc-トリペプチドメチルエステル **7** を得た. さらに, 化合物 **7** のエステルの加水分解反応により *N*-Boc-トリペプチド **8** へと誘導した. また, *N*-Cbz-1,2-ジヒドロピリジン **9** とアクリル酸メチル **10** との Diels-Alder 反応により, *N*-Cbz-イソキヌクリジン誘導体 **11** を合成し, 続く化合物 **11** の水素添加した. 最後に, 化合物 **8** と化合物 **12** との縮合反応により, *N*-Boc-テトラペプチド **13** を得, 続くチロシン残基の水酸基のアセチル化, N 末端のイミノエチル化, そしてエステルの加水分解を行うことにより目的とするかご型テトラペプチド **1** の合成を行った.

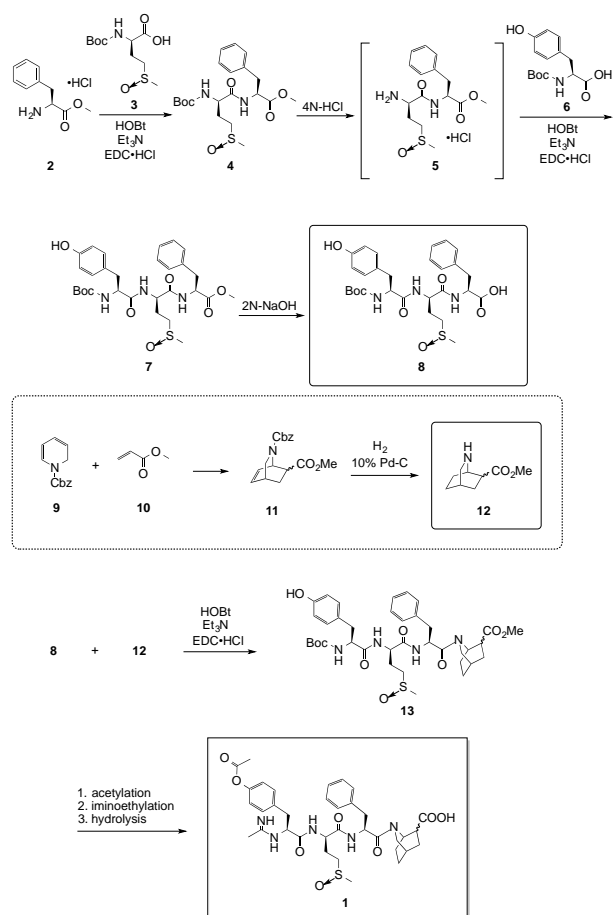


Chart 1. 新規かご型 tetrapeptide **1** の合成

3 おわりに

鎮痛作用の発現が期待され, モルヒネの有する依存性などの副作用を軽減し, 神経障害性疼痛にも有効なペプチド化合物の合成を目的として本研究を行った. すなわち, 鎮痛活性の発現に有効な N 末端の

イミノエチル基, チロシン残基と D-メチオニンスルホキシド残基を有し, さらに C 末端にも活性の発現に有効な β-アミノ酸構造を含有する立体的に嵩高く剛直なイソキヌクリジンかご型構造を有するペプチド化合物 **1** の合成を検討した. 本研究結果は, 特許出願された.²⁾ 現在, 化合物 **1** を含む様々なかご型テトラペプチド化合物の合成, および得られた化合物の鎮痛活性試験を実施中である.

文献

- (1) a) S. Salvadori, M. Marastoni, G. Balboni, G. P. Sarto, R. Tomatis, *J. Med. Chem.*, **1986**, 29, 889-894.
 b) T. Ogawa, M. Araki, T. Miyamae, T. Okayama, M. Hagiwara, S. Sakurada, T. Morikawa, *Chem. Pharm. Bull.*, **2003**, 51(7), 759-771.
- (2) 発明名称: オピオイドペプチド誘導体及びこれを含む医薬組成物, 出願番号: 特願 2019-193339, 出願日 2019年10月24日

**国立大学法人 室蘭工業大学
地方創生研究開発センター**

〒050-8585 室蘭市水元町27番1号

URL <http://www.muroran-it.ac.jp/crd/>

E-mail crd@mmm.muroran-it.ac.jp

T E L (0143)46-5860

F A X (0143)46-5879