

愛知工業大学教育・研究特別助成
AIT Special Grant for Education and Research
2019（令和元）年度中間報告書

| | | | |
|-------|--------------------------------|---------|-------------|
| 種 目 | 研究 分野横断型 研究期間：平成 30 年度～令和 2 年度 | | |
| 課 題 名 | 災害時の安全な給水システムの確保に関する分野横断型研究 | | |
| 研究代表者 | 手嶋 紀雄（工学部 応用化学科 教授） | | |
| 助 成 額 | 5,000,000 円 (令和元年度) | 実 支 出 額 | 5,024,807 円 |

費目別決算

(単位：円)

| 区 分 | 合 計 | 設備備品費 | 消耗品費 | 旅 費 | その他 |
|------|-----------|-----------|-----------|---------|--------|
| 経費内訳 | 5,024,807 | 2,568,870 | 2,140,905 | 224,240 | 90,792 |

専門分野：分析化学、生命科学、土木工学、機械工学、電気工学

キーワード：震災、減災、救命、給水、安全

1. 研究開始当初の背景

阪神・淡路大震災や東日本大震災ではライフラインが完全に崩壊し、ガス・水道の応急復興完了までには3か月も有した。また近年、南海トラフ巨大地震発生の確率が高まっている。このような教訓や将来の懸念から、地区毎の防災倉庫の設置の他、雨水蓄積槽や水道水貯留タンクの設置と耐震化は継続的かつ緊急の社会的課題である。また震災時には、河川や井戸水中のふっ化物、ヒ素、マンガンなどの濃度上昇が報告されており、水質の悪化が懸念される。無電源で使用可能な簡易浄水器も市販されているが、水溶性の高い無機化合物に対する除去効率は高くない。

2. 研究の目的

そこで、貯水タンク等の水供給施設に対し、土木・機械工学の知見により頑健性を確保する。また貯水タンクの破損や設置状況等を安全に把握するため、自律ロボットを活用する。一方、タンク内の水あるいは遊休井戸、河川水や地下水等が地震により有害化学物質で汚染された場合、本提案により開発する携行型浄水カートリッジによって汚染物を吸着除去し、安全性を検査した上で、飲食に利用することを目指す。すなわち本研究により震災直後の数日間における生存のための水、さらには復旧が進む段階での生活水の確保が可能となる。このような救命に資する安全な給水システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

本研究には、①「携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（応化：手嶋、村上）」、②「耐震性貯水タンクの作製と評価（土木：鈴木；機械：北川）」、③「自律ロボットによる貯水タンクとその周囲環境の計測（電気：道木；応化：手嶋）」の各分担研究テーマが存在する。各分担研究の方法については「5. 研究成果」で述べる。また「4. 主要な設備備品」～「6. 次年度の研究計画」欄に記載する①、②、③の番号は、上述の各分担研究の番号に相当する。

4. 主要な設備備品

- ・ イオンクロマトグラフ用検出器（応化）
¥498,960・・・・・・・・・・・・・・ ①
- ・ スコープコーダ（機械）
¥579,700・・・・・・・・・・・・・・ ②
- ・ MacBook Pro（機械）
¥292,050・・・・・・・・・・・・・・ ②
- ・ 3次元計測機（電気）
¥385,000・・・・・・・・・・・・・・ ③
- ・ Microsoft Surface（電気）
¥121,000・・・・・・・・・・・・・・ ③
- ・ Lenovo Thinkpad（電気）
¥ 286,000・・・・・・・・・・・・・・ ③

5. 研究成果（現在までの研究実施状況）

- ①-a) 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（村上・手嶋）

災害時において飲料水の確保は必要不可欠なものである。そのためには、水中に含有されている可能性の高い有害物質の除去が必要である。これまでに、低極性化合物から高極性化合物まで除去することが可能な逆相系吸着剤の開発を達成し、報告している。さらにこれまでとは異なるアプローチの逆相系吸着剤についても検討を進めている。また 2018 年度から進めている吸着剤粒子が含まれているフィルター型の成形品の合成・性能評価をさらに推進した。すなわち、種々の合成条件の最適化を進め、フィルターとしての強度や通液性の確保などの一定の成果を得ている。この成形品の合成においては、吸着させたい有害物質に応じて、含有させたい吸着剤粒子を選択することができる。例えば、金属イオンを捕捉する機能を有するキレート生成の反応性をもつ吸着剤粒子を含有させることにより、金属イオンを捕捉させることができる (Fig. 1)。成形品はカートリッジに積層させることができるので、異なる吸着剤粒子を含有させた複数の成形品によって、中性化合物と金属イオンを同時に除去させることも可能である。

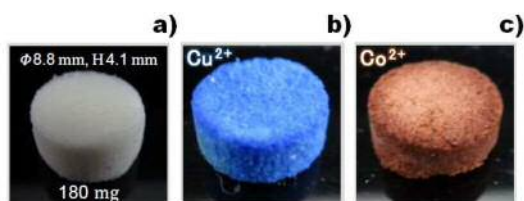


Fig. 1 Adsorption of metal ion onto adsorption medium including chelating resin. a), before adsorption; b), adsorption of copper(II); c) adsorption of cobalt(II).

①-b) 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価 (手嶋・村上・道木)

上述のフィルターを利用して水を浄化した後に、得られた水が飲料水として適用可能かどうかを検証することは極めて重要である。このために、簡便かつ安全性の確認ができるために十分な感度を有する定量測定系の開発を行っている。2019 年度は、異なる研究テーマにおいて共同研究を行っている福井県立大学の片野肇教授の協力を得て、パームトップ型の吸光光度計を作製し (Fig. 2)、水質評価ができないかの検討を行った。定量分析において汎用的に利用されるデスクトップタイプの吸光光度計と本パームトップ型の吸光光度計によっ



Fig. 2 A homemade palmtop spectrophotometer.

て 1,10-フェナントロリン (phen) を用いる鉄(III)イオンの吸光光度分析を行った。その結果、汎用の吸光光度計によって得られた鉄(III)-phen 錯体の吸収スペクトルと、本研究のパームトップ吸光光度計の吸光度はよく一致した。よって、本吸光光度計が実用的に利用可能であることが明らかとなった。

②-a) 耐震性貯水タンクの作製と評価 (北川・鈴木)

タンクの破壊形態は、以下の 2 種類に大別される。1)タンク全体の大きな変形、および 2)タンク基部の接合部における応力集中によるものである。1)はタンク内部の補強方法の違いによる部分が大きく、2)はタンク接合部のディテールの形状によると推測される。それらの主要な要因解明のために、鋼材などを用いて補強し、ひずみの値を計測した。また、タンク内水圧分布についても計測し、水圧分布と破壊形態の比較を行い評価した。

なお、このタンク内水圧はタンク下部に高減衰ゴムシートを挿入することにより、応答水圧を最大で 1/2 程度まで減ずることが可能となった。ただし、ゴムシートを挿入することにより、固有周期の移動も発生し、内容液の固有周期とタンクの固有周期が一致する危険性も示唆され、その結果、タンクパネル接続部のせん断破壊などが懸念されるようになり、次年度の課題となった。

②-b) 耐震性貯水タンクの作製と評価 (北川・鈴木)

水中爆発で発生する衝撃波を地震波と見立て、爆発環境下での各種表面形状の構造体に掛かる衝撃力昇圧の様相を調べた (Fig. 3)。凹凸・半円構造体を設置した場合、小さいセル径の空隙媒体は非定常抵抗が大きく、衝撃波及び水流ジェットの影響・反射・回折が起こり、衝撃力を弱める。凹凸形状よりも、半円形状の方が衝撃力の減衰が大きい。剛体壁より、99%以上の減衰結果を示し、半円形状が最も優れていた。

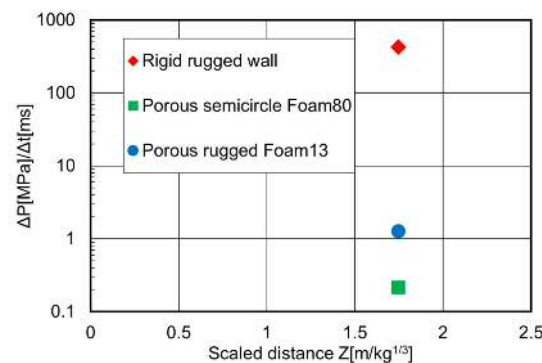


Fig. 3 Pressure gradient versus scaled distance for some surface shapes.

③ 自律ロボットによる貯水タンクとその周辺環境の計測（道木・手嶋）

貯水タンクへの安全なアクセスルートやタンクの破損等を確認するための自律移動ロボットの実現第一歩として、前年度にロボットに搭載したカメラからタンク周辺環境を動画として転送する機能並びにロボットの遠隔操縦機能を実現した。その際、ベースとして用いた自律移動ロボットは屋内用であったため、安定した屋外環境走行が困難であった。そこで、今年度は購入したミニ PC（NUC キット）を用い、屋外走行に適した車体を制作した。制作したロボットには遠隔操縦用の全方位カメラの他、環境地図作製の 3 次元計測機も搭載した。続いて、遠隔操縦において無視できない通信遅延が作業効率に与える悪影響を抑制するためにセンサ情報に基づく AR 映像提示システムを構築し、障害物回避問題において有効性を検証した。被験者実験より、通信遅延が発生する状況下では映像のみよりも AR 映像を提示した時の方が障害物を確実に回避できる結果が得られた。

6. 次年度の研究計画

①-a) 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（村上・手嶋）

本年度までの研究成果より、中性化合物および金属イオンの捕捉が可能なフィルターの開発を達成している。次年度は、まずこれらのフィルターに関して更なる高性能化を進める予定である。それと並行して、実用面での本フィルターの浄化性能について、詳細な評価を進めていく。現在得られているフィルターは、ある程度の弾性と通液性を有していることから、一般的な利用は可能であると思われる。しかし、どこまでの水量、水圧への耐久性があるかなどは精査していないため、これらの検討を行い、必要に応じてフィルター合成に関する処方を適宜変更することによって対応する。さらに実試料として、貯水槽の水などの比較的きれいな水から井戸水やため池などに対しても、本フィルターを適用し、その浄化性能について評価を進める予定である。

①-b) 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（手嶋・村上・道木）

次年度は、上述の開発されたフィルターを用いて、携行型浄水カートリッジを作成し、水の浄化能について精査を行う。すなわち浄化された水について、パームトップ型の吸光光度計がオンサイトでの水質検査に適用可能かどうかの検討を行う。問題点が生じた場合、パームトップ型の吸光光度計の更なる高感度化、および簡便性について検討を進める。さらに、より自動化が進んだシステムとして、

流れ分析の 1 種であるシーケンシャルインジェクション分析（Sequential Injection Analysis, SIA）法を利用することにより、より一般の方が手軽に測定することが可能なシステムの構築を目指す。さらに水質においては微生物等に関して問題となることから、微生物もフィルター等で除去されているか、検討を進める。

②-a) 耐震性貯水タンクの作製と評価（鈴木・北川）

地震波が土中を伝播し、縦波と横波が地中式タンクに衝突するとき、タンク表面で反射が発生する。これまで石油タンクの全面火災などの事故例が報告されており、多くの対応案が提案されているが、決定的な案に至っていないのが現状である。次年度は、既存の技術の応用を含め、特にパネル接合部の挙動に着目し、パネルそのもののせん断試験を行い、破壊の進展状況を確認する。また、加振時におけるパネル接続部の開き量と、タンク内水圧の変化に着目した試験を実施する。また、解析的検討を組み合わせることで、タンクのパネル接合部のディテールを種々検討することができ、接合部についての設計方法の改良につながるデータを得られることが期待できる。

②-b) 耐震性貯水タンクの作製と評価（北川・鈴木）

本研究では、水中爆発で生成する爆発環境下での昇減圧と構造体に掛かる衝撃力減衰効果の特徴と評価を行うことを予定している。特徴に関しては、衝撃波、水流ジェットと可変形空隙媒体の可視化と圧力計測によって行う。衝撃環境減衰効果は、加速度と媒質の変形からインパルスを求める。これらの評価から減衰手法の確立を行う。衝撃環境の減衰は、構造体表面に設置する可変形空隙媒体の形状と媒質（密度、音響インピーダンス）の組み合わせにより、対応可能と予測される。

③ 自律ロボットによる貯水タンクとその周辺環境の計測（道木・手嶋）

遠隔操縦で貯水タンクを計測するシステムとして、貯水タンク計測用カメラを HMD 動作に連動させるシステムの構築を行い、移動ロボット操縦と貯水タンク計測を同時に行うことが可能なシステムの構築を目指す。また、自律移動ロボットによる計測の第一歩として 3DLidar の情報を用いた 3 次元環境地図作成とカメラを用いた SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を行い、環境地図並びに自己位置推定の性能検証、ロボットの移動可能領域の判定手法の構築を目指す。

7. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- 1) K. Kiwfo, W. Wongwilai, T. Sakai, N. Teshima, K. Grudpan, “Determination of albumin, glucose and creatinine employing a single sequential injection lab-at-valve with mono-segmented flow system enabling in-line-dilution, in-line-single standard calibration and in-line-standard addition”, *Molecules*, in press (査読有).
- 2) 富田博貴、杉田 崇、村上博哉、江坂幸宏、井上嘉則、手嶋紀雄、“極性化合物捕集用メタクリレート系固相抽出剤の調製と特性評価”、*分析化学*, **69**, 25–30 (2020) (査読有).
- 3) Y. Esaka, S. Kunishima, H. Aruga, Y. Hiromitsu, T. Yamamoto, H. Murakami, N. Teshima, B. Uno, “Preparation of cyclic-1, *N*²-propano-2'-deoxyguanosine-d₇ as an Internal Standard for ESI-MS/MS Determination of DNA Damage from Acetaldehyde”, *Anal. Sci.*, **35**, 1393–1397 (2019) (査読有).
- 4) H. Murakami, H. Tomita, T. Aoyanagi, T. Sugita, Y. Miki, Y. Esaka, Y. Inoue, N. Teshima, “Effects of Pendant-like Hydrophilic Monomers on the Adsorption Properties of Reversed-phase-type Sorbents for Solid-phase Extraction”, *Anal. Chim. Acta*, **1075**, 106–111 (2019) (査読有).

〔学会発表〕(計10件)

- 1) 村上博哉、尾宮美保、杉山拓也、三木雄太、江坂幸宏、井上嘉則、手嶋紀雄、“極性化合物の捕捉を可能にする HILIC 型固相抽出用吸着分離剤の開発”、第32回バイオメディカル分析科学シンポジウム、武蔵野大学武蔵野キャンパス(西東京市)、2019年8月23~24日(発表日8月23日)。
- 2) H. Murakami, H. Tomita, T. Sugita, Y. Esaka, Y. Inoue, N. Teshima, “Development of Non-Aromatic Reversed-phase Type Sorbent for Solid Phase Extraction”, HPLC 2019, Kyoto university, Kyoto, 2019年12月1~5日(発表日12月3日)。
- 3) 上田奈穂、片野 肇、村上博哉、手嶋紀雄、“マイコンを利用した遠隔操作・簡易自動分析装置の検討”、第38回分析化学中部夏期セミナー、インテック大山研修センター、2019年9月2日~3日(発表日9月3日)。
- 4) 片野 肇、上田奈穂、村上博哉、手嶋紀雄、“IoT マイクロコントローラーを用いた遠隔操作・自動分析装置”、International JAFIA 35th Anniversary Symposium with

Prof. Christian and Dasgupta—第56回フローインジェクション分析講演会、愛知工業大学自由ヶ丘キャンパス、2019年10月11~12日(発表日10月11日)。(10月12日は台風上陸で中止)

- 5) D. Aoki, Y. Bando, N. Watanabe, M. Suzuki, “Development of Seismic Device for Stainless Steel Rectangular Water Tank at Short Period Earthquake”, The 14th Nordic Steel Construction Conference, September 18–20, 2019, Copenhagen, Denmark.
- 6) 佐久間真輝、鈴木森晶、青木大祐、行田聡、坂東芳行、“ステンレス鋼製パネルタンク内部の動水圧分布に着目した破損メカニズムの検討”、令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会概要集、I-330, 2019.
- 7) K. Kitagawa, K. Ohtani, “Experimental study on washing effect for textile using the underwater explosion”, 32nd International Symposium on Shock Waves (ISSW32), (2019.7.14-19), (National University of Singapore, Singapore), #OR-14-0041.
- 8) K. Kitagawa, K. Ohtani, Y. Konishi, “Study on Washing Effect for Textile using the Underwater Explosion” The 16th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019), OS19: The 19th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2019) IFS Collaborative Research Forum, (2019.11.6-8), (Sendai, Japan), #CRF-97, pp.204-205.
- 9) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“映像に3D Lidar情報を重畳した拡張現実による遠隔操縦縦システム”、SICE中部支部シンポジウム 2019、信州大学工学部キャンパス、2019年9月24日。
- 10) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“映像品質劣化の悪影響抑制を目的とした遠隔操縦者支援のための拡張現実を用いた映像提示手法”、計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2019、千葉大学西千葉キャンパス、2019年11月23日~25日(発表日:11月23日)。

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.aitech.ac.jp/~analabo/>