

愛知工業大学教育・研究特別助成
AIT Special Grant for Education and Research
平成 30 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～平成 32 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 (平成 30 年度)	実 支 出 額	4,971,016 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	4,971,016	4,550,018	404,838	14,000	2,160

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

よって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ができる。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)～(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

- ・ 自動比表面積細孔分布測定装置（応化）
¥3,888,000・・・・・・・・・・(1)
- ・ 小型圧力センサ PS-05KD（土木）
¥170,424・・・・・・・・・・(2)
- ・ ストープ（土木）
¥78,309・・・・・・・・・・(2)
- ・ 圧力センサ プラットニードルプローブ（機械）
¥356,400・・・・・・・・・・(2)

5. 研究成果（現在までの研究実施状況）

(1)-① 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価（村上・手嶋）

災害時における飲料水を確保するためには、各種有害成分の除去が必要不可欠なものとなる。本年度は、まず高極性な有機化合物

の除去を可能にする吸着分離剤の開発を行った。これまでに逆相系の吸着分離剤である hydrophilic-lipophilic balance (HLB) 型の樹脂を開発し、高い除去性能を有する吸着分離剤の開発に成功している。本研究では、さらなる高性能化を目指し、親水性モノマーに関する検討を行った。その結果、条件等の最適化により、高い除去特性を有する吸着分離剤の開発に成功した。

また災害時に飲料水を確保するには、簡便な浄化作業が求められる。そこで、独自に合成した粉体である吸着分離剤を成型することにより、通液させるだけで有害物質を除去することができるフィルターの開発について検討を行った。Fig. 1 に試作した成型吸着分離剤フィルターを示す。吸着分離剤と接着剤の混合条件などを最適化することにより、通液性のよいフィルターを試作することができた。



Fig. 1 A trial product of molded sorbent (left); 10-yen coin (right).

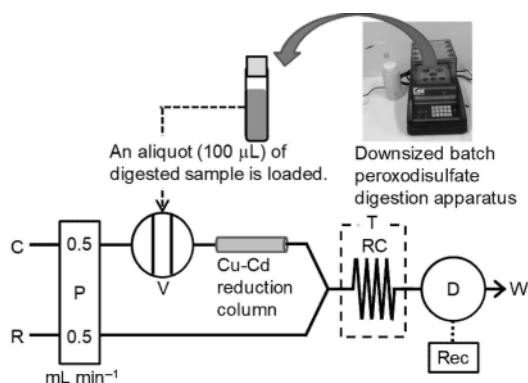


Fig. 2 Schematic flow diagram of the downsized batch peroxodisulfate digestion and the subsequent FIA system for total nitrogen determination.

(1)-② 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価 (手嶋・村上)

携行型浄水カートリッジの作製は、5節(1)-①で述べたように、カートリッジ内部に充填する成型吸着剤フィルターの試作まで達成できている。ここでは、成型吸着分離剤フィルターが完成したことを想定し、有害物質の除去能評価のための全窒素の試験方法を新たに開発した。Fig. 2 に示すように試料水をペルオキシ二硫酸カリウムによって酸化分解し、分解液の上澄み液を銅・カドミウムカラム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光光

度法に基づくフローインジェクション分析 (FIA) 法に導入する定量法である。試料液及び酸化分解試薬液の液量を現行 JIS 法よりもそれぞれ 1/10 及び 1/5 に削減させることができた。

(2)-① 耐震性貯水タンクの作製と評価 (鈴木・北川)

タンクの破壊につながる地震動の成分および特徴の抽出を行うと共に、地震波や衝撃環境下での耐震性貯水タンクとの衝突干渉の特徴の評価を行った。特に本年度はタンクそのものの振動と内容液の地震時慣性力によりタンク本体に発生するバルジング振動に着目し、圧力センサを多数配置し、様々な加振条件下における圧力分布を解明した。これらのタンクの機能維持には極めて重要な要因となる。また、緩衝材として、タンク下面に挿入したゴムシートについては、特に季節の温度変化による性能の変化が大きくなることが予想されるため、冬場にストーブにより加温し、0~30°C の範囲で所定の温度のもとでの基本性能を評価した。

(2)-② 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、爆発環境下での昇減圧から構造体に掛かる衝撃力減衰の様相を圧力計測により調べた (Fig. 3)。構造体表面に可変形空隙媒体を設置し、空隙媒体のセル径が小さいほど衝撃波の伝播が遅延し、水流ジェットが通り抜けにくくなり、衝撃力を弱めることが可能である。慣性力の大きい水流ジェットの減衰は、剛体壁と比して、空隙セル数 13: 81%、50:30%、80:55%となり、セル数 50 が最も優れている。

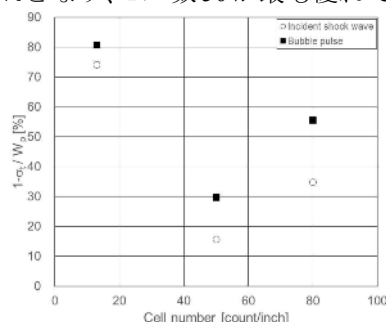


Fig. 3 Pressure attenuation factor versus cell number in polyurethane foam.

(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実現第一歩として、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。Fig. 4 にシステム構成を示

す。Fig. 4 に示すように、本システムでは 360°カメラを用いてロボット周辺の環境情報を獲得し、それをヘッドマウントディスプレイ (Head Mount Display : 以下、HMD) を通して遠隔操縦者へ情報提示を行うシステムである。360°カメラと HMD を用いることで、遠隔操縦者はロボット周辺の任意の方向の視覚情報を得ることができる。また、本システムではロボット操縦はハンドルコントローラで行うものとした。以上のシステムは ROS (Robot Operation System) 上で構築した。これにより、遠隔操縦者は自身の操縦に適した臨場感ある視覚情報を元にロボットの遠隔操縦を行うことが可能となった。

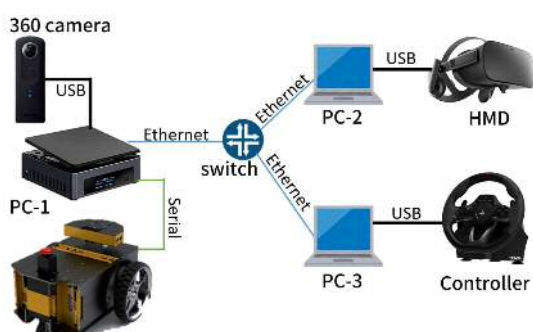


Fig. 4 Overview of the constructed system for remote monitoring using omnidirectional camera and HMD and remote control of the robot

6. 次年度の研究計画

(1)-① 携行型浄水カートリッジの作製と水質評価 (村上・手嶋)

これまでの検討により、有害成分の除去を可能にする吸着分離剤の開発およびフィルターの開発を達成している。次年度は、フィルターの高性能化について、検討を進める。具体的には、まず通液性を確保するために、接着剤種の検討やフィルターとして成型するのに好適な吸着分離剤の開発、円盤型以外の有害成分の除去に最適な形に関する検討などを進める予定である。また、有機化合物以外の有害金属などの浄化に関しても、樹脂の種類を変更し、各種検討を行う予定である。

(1)-② 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)

本研究では最終年度までに携行型浄水カートリッジを開発することを予定している。このカートリッジによって、除去を目的とする有害化学物質が吸着除去されているかどうかをオンサイトで計測するには、持ち運びが容易なパームトップ型の分光光度計が必要となる。そこで電気学科 (道木) と共同でマイコン・LED・照度センサから成る簡易吸光分析計の開発を行う。

一方、地震発生時の地殻変動により地下水中のふっ化物イオンの濃度が増加する可能性がある。このため、ランタンアリザリコンプレキソンとふっ化物イオンの錯形成反応を利用するふっ化物イオンとの吸光度検出-シーケンシャルインジェクション分析 (Sequential Injection Analysis, SIA) 法を開発する。すでに同種の流れ分析である FIA 法を開発済みなので、SIA 法を利用する基本的な知見は有している。

(2)-① 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。本年度は、既存の技術の応用を含め、特に本年度に解明した圧力分布の結果をふまえ、内部補強を工夫することにより、減衰定数 2 倍または自由振動時の減衰にかかる時間を 1/2 に短縮すること目標とし、各種の減衰対策を実施する。例えば、平面、凹凸や楔形形状のフォームの様な柔軟複雑媒体をタンク表面に設置し、地震波との干渉と過剰圧力減衰効果の特徴を解明する。

(2)-② 耐震性貯水タンクの作製と評価 (北川・鈴木)

本研究では最終年度までに、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、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り行う。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)

本研究では、3次元測域センサ (3DLiDAR) を用いた貯水タンク周辺の環境地図作成手法並びに自己位置推定手法の構築を予定している。具体的には 3DLiDAR とカメラによる SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) により地図作成と自己位置推定を行い、獲得された地図の性能検証、自己位置推定精度の検証、更にはロボットが移動可能な領域の判定手法の構築を行う。

7. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 7 件)

- 1) 作田成久、藤井亮甫、大野慎介、村上博哉、林 則夫、酒井忠雄、手嶋紀雄、“環境水中の全窒素の定量分析法におけるダウンサイジング化と自動化”、*分析化学*、印刷中 (2019).
 - 2) Y. Esaka, K. Hisato, T. Yamamoto, H. Murakami, B. Uno, “Evaluation of type A endonucleases for quantitative analysis of DNA damages due to exposure to acetaldehyde using capillary electrophoresis”, *Anal. Sci.*, **34**, 901–906 (2018).
 - 3) 岩政衣美、三木雄太、井上嘉則、江坂幸宏、村上博哉、手嶋紀雄、“DNA 付加体の網羅的分析を目指した HILIC 分離条件の検討”、*分析化学*, **67**, 479–484 (2018).
 - 4) 三木雄太、村上博哉、尾宮美保、江坂幸宏、井上嘉則、手嶋紀雄、“アデニンを修飾した新奇吸着分離剤の核酸関連化合物に対する固相抽出特性”、*分析化学*, **67**, 445–451 (2018).
 - 5) H. Murakami, T. Aoyanagi, Y. Miki, H. Tomita, Y. Esaka, Y. Inoue, N. Teshima, “Effects of hydrophilic monomers on sorptive properties of divinylbenzene-based reversed phase sorbents”, *Talanta*, **185** 427–432 (2018).
 - 6) 手嶋紀雄、村上博哉：“飲料水質評価のための高性能流れ分析”、*愛知工業大学総合技術研究所研究報告*, **20**, 89–91 (2018).
 - 7) 村上博哉、手嶋紀雄：“逆相系固相抽出用吸着分離剤における親水性モノマーの影響に関する研究”、*愛知工業大学総合技術研究所研究報告*, **20**, 92–94 (2018).
- 〔学会発表〕 (計 11 件)
- 1) 村上博哉、井上嘉則、手嶋紀雄、“前処理技術向上のための固相抽出法の高機能化と流れ分析への展開”、第 78 回分析化学討論会、山口大学常盤キャンパス (宇部市)、2018 年 5 月 26~27 日 (発表日 5 月 27 日) .
 - 2) H. Murakami, “Development of various sorbents having different separation mode for hydrophilic compounds”, International Symposia on Research towards Green Innovation 2018, The Empress International Convention Center, Chiang Mai, Thailand, 2018 年 12 月 8~9 日 (発表日 12 月 8 日) .
 - 3) 村上博哉、富田博貴、青柳拓哉、三木雄太、江坂幸宏、井上嘉則、手嶋紀雄、“極性化合物に対する捕捉特性の改善を目指した逆相系吸着分離剤の高機能化”、第 25 回クロマトグラフィーシンポジウム、弘前大学 (弘前市)、2018 年 6 月 13~15 日 (発表日 6 月 14 日) .
 - 4) 手嶋紀雄、作田成久、大野慎介、村上博哉、林 則夫、“全窒素の酸化分解-UV・VIS 同時検出フローインジェクション分析”、日本分析化学会第 67 年会、東北大学川内北キャンパス (仙台市)、2018 年 9 月 12~14 日 (発表日 9 月 12 日) .
 - 5) N. Teshima, H. Murakami, Y. Inoue, “On-line sample pretreatments by flow-based analysis methods”, Flow Analysis XIV, Arnoma Grand Bangkok Hotel, Bangkok, Thailand, 2018 年 12 月 2~7 日 (発表日 12 月 3 日) .
 - 6) Charinrat Siritham、村上博哉、浦 明子、手嶋紀雄、“JIS 改正を指向した環境指標項目の SIA”、第 55 回フローインジェクション分析講演会、芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都港区)、2018 年 11 月 16 日 (発表日 11 月 16 日) .
 - 7) 村上博哉、富田博貴、杉田 崇、北原佑将、三木雄太、青柳拓哉、Nichapat Chumin, 江坂幸宏、Proespichaya Kanatharana, Chongdee Thammakhet-Buranachai, 井上嘉則、手嶋紀雄、“逆相系吸着分離剤の高機能化と流れ分析への展開”、第 55 回フローインジェクション分析講演会、芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都港区)、2018 年 11 月 16 日 (発表日 11 月 16 日) .
 - 8) 青木大祐、行田聡、坂東芳行、佐久間真輝、鈴木森晶、短周期振動を受ける矩形大型水槽の水圧低減装置に関する実験的検討、平成 30 年度 土木学会中部支部研究発表会、(愛知工業大学)、2019 年 3 月 1 日 (発表日 3 月 1 日) .
 - 9) 佐久間真輝、鈴木森晶、青木大祐、坂東芳行、行田聡、パネル接合部の損傷に着目したステンレス鋼製パネルタンク強度の検討、平成 30 年度 土木学会中部支部研究発表会、(愛知工業大学)、2019 年 3 月 1 日 (発表日 3 月 1 日) .
 - 10) K. Kitagawa, K. Ohtani, “Visualization of flow field around the underwater explosion”, The 18th International Symposium on Flow Visualization (ISFV 2018), ETH Zurich, Switzerland, 2018 年 6 月 26~29 日.
 - 11) K. Kitagawa, K. Ohtani, Y. Konishi, A. Abe, “Attenuation and reduction effect of underwater explosion by porous materials”, The 15th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018), OS19: The 18th International Symposium on Advanced Fluid Information (AFI-2018) IFS Collaborative Research Forum, Sendai, Japan, 2018 年 11 月 7~9 日, #CRF-76, pp.158–159.
- 〔図書〕 (計 0 件)
- 〔その他〕
ホームページ等
<http://www.aitech.ac.jp/~analabo/>