

令和3年度研究開発成果概要書

採択番号 222A01

研究開発課題名：ウイルス等感染症対策に資する情報通信技術の研究開発

課題A ウイルス等感染症により発生するパンデミック対策に資するICT

副題：IoT無線制御技術と除菌ロボットを用いた最適除菌ルート制御と除菌効果の可視化による除菌自動化システム

(1) 研究開発の目的

本研究開発は、病院などの多くの人が入り出る公共施設内において除菌ロボットを用い自動制御システムにより最適化されたルートを辿りながら除菌作業を行い、その除菌効果を可視化する事でクラスターの発生を未然に防ぐ除菌自動化システムの研究開発を目的とする。

(2) 研究開発期間

令和3年度から令和4年度(2年間)

(3) 実施機関

アンドロボティクス株式会社<代表研究者>
ユニトライク株式会社
学校法人東京理科大学
医療法人桂水会

(4) 研究開発予算(契約額)

令和3年度から令和4年度までの総額40百万円(令和3年度20百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目1 自律走行除菌ロボットの空間移動最適化アルゴリズムの研究開発

1-1 間移動最適化アルゴリズム考案(学校法人東京理科大学)

1-2 ロボットの空間移動制御方式の実装(アンドロボティクス株式会社)

研究開発項目2 除菌効果の時空間可視化システムの研究開発

2-1 移動経路可視化システムの開発と実証実験

(アンドロボティクス株式会社、医療法人桂水会)

研究開発項目3 除菌効果を測定するセンサ技術の研究開発

3-1 センサ原理の考案(アンドロボティクス株式会社)

3-2 除菌センサの実装開発(アンドロボティクス株式会社)

3-3 除菌センサのセンサ性能測定(ユニトライク株式会社)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	1	1
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 自律走行除菌ロボットの空間移動最適化アルゴリズムの研究開発

1-1.空間移動最適化アルゴリズム考案 (東京理科大学)

【目標】

地図情報を入力としロボットの空間移動アルゴリズムの考案を行う。

【実施内容・成果】

地図情報を基にしたロボットの空間移動アルゴリズムに対しては既に TSP を用いて全てのセルを訪問する方式と PSO アルゴリズムを用いて全てのセルをカバーできる解を求め TSP で接続する方式が知られているが、薬剤の噴霧分布を考慮した最適化に関しては前例が無いためその最適化に関して考案を行った。

まず、地図全体の除菌濃度の定式化について考察した。除菌対象をセルに分割し、ロボットの移動位置と各セルの除菌濃度を行列で定義し、更にセル間の移動をより細かく表現するために、セル毎に移動位置行列を用意する。除菌濃度は、移動位置による除菌作用と移動経路による除菌作用、更に除菌による濃度の分布を仮定した式に基づいて計算した。(除菌による濃度の分布を仮定した式は研究開発項目 3 の成果により最終的により正確な値に置き換える。)

次に、ロボットの除菌経路決定問題の定式化について考察した。除菌液の濃度及び経路に対して、全体の除菌濃度が一定以上の値となるように、目的関数と障害物が存在しないことを保証するための制約条件を定義した。

最後にロボットの除菌経路の最適化アルゴリズムに関して考察した。障害物セルを除く全てのセルを移動位置とし、目的関数として経路長が最短を使って最適化を行う。経路は逐次 TSP を用いて最短経路となるように移動経路を入れ替えながら除菌濃度を制約条件として全経路を計算する事にした。

前記の既存アルゴリズムと比較として、除菌濃度分布を考慮した本アルゴリズムでは、障害物を含まない地図に対するもの及び障害物を含む地図に対するもの双方に対して大幅な経路短縮化を行う事が出来た。

1-2.ロボットの空間移動制御方式の実装 (アンドロボティクス社)

【目標】

考案した空間移動ルート計算アルゴリズムをロボットに実装し地図情報の入力に対して自動計算にて移動ルートを作成し除菌ロボットが移動できる方式を開発する。

【実施内容・成果】

考案した空間移動ルート計算アルゴリズムをロボットに実装するために実験の結果以下の機能が必要になった。

- ① ロボットがレーザーレーダーで計測した地図情報を読み取りルート計算可能な形式に変換する機能
- ② 読み取った地図情報に対して移動不可な領域を追加する機能
- ③ 噴霧すべき領域を抜き出す機能

- ④ 地図内のノイズや計測不能な場所をフィルターする機能
- ⑤ 領域内でロボットが移動可能な領域を制限する機能
- ⑥ ロボットの位置、姿勢に対する噴霧領域中心位置の設定機能
- ⑦ ルート生成機能
- ⑧ ルート入力・編集機能
- ⑨ 最適ルート計算を行う領域と壁面部等噴霧必須領域の分離機能
- ⑩ 生成したルートをロボットに指令を与える機能
- ⑪ 通信異常時処理機
- ⑫ 各種パラメータ設定機能
- ⑬ 操作メニュー機能

上記方式を開発実装し、本システムで取得整形した地図を基に、空間移動最適化アルゴリズム（研究開発項目 1-1）で計算したルートを本システムに入力して実際に走行させる事に成功した。

③から⑥に関しては膨大な計算量が必要になり 400 平米程度のエリアの計算に当初 400 秒程の計算時間が必要であった。ロボットの起動時間およびルート変更時の再計算時間は実用上 10 秒程度が許容限界と考えておりその解決のために高速計算アルゴリズムを開発し、10 数秒で計算させる事が出来た。また実験の結果②の読み取った地図情報に対して移動不可な領域を追加する機能及び⑨の最適ルート計算を行う領域と壁面部等噴霧必須領域の分離機能が必要で有る事が判明し②の追加を行なった。最適ルート計算に関しては計算時間が掛かるため現在別途コンピュータで計算させているが、次年度で高速アルゴリズムの開発を行い本システムに実装する事とする。

研究開発項目 2 除菌効果の時空間可視化システムの研究開発

2-1. 移動経路可視化システムの開発と実証実験（アンドロボティクス社）（桂水会（岡病院））

【目標】

データの蓄積及び可視化システムの実証試験時の運用は総合テストベッドを利用し情報の収集可視化を実現する事を想定している。

【実施内容・成果】

総合テストベッドの機能として想定していた可視化効果を出せない事が判明したため、1-2.ロボットの空間移動制御方式の実装で開発したシステムに実装する事にした。そのため移動経路の可視化の基本機能として以下のものを開発した。

- ① 開発した空間移動制御システムをサーバーで動作させるための遠隔制御・遠隔表示機能
- ② ロボット位置と制御指令情報の通信機能
- ③ 移動経路の 2D 表示機能（Qt を使った地図、ロボット位置、経路の 2D 表示）
- ④ 経路と同時にロボット移動時の実空間を可視化するためのビデオカメラ入力と表示機能、更に噴霧状態・除菌状態を可視化するために以下の機能を追加開発する事にした。
- ⑤ ロボットの噴霧空間分布データの入力機能
- ⑥ ロボットの位置・姿勢・薬剤噴霧方向と連動した地図への噴霧量加算機能

①から④に関しては、開発実装を行い地図作成、ルート走行の事前実験と移動経路可視化の実証実験を行い成功している。

除菌効果の時空間可視化をするために移動経路の可視化システムに⑤⑥を追加するための表示プラットフォームを追加構築した。移動経路の表示機能と連動して噴霧状態を表示出来る事を確認した。

研究開発項目 3 除菌効果を測定するセンサ技術の研究開発

3-1. センサ原理の考案（アンドロボティクス社）

【目標】

生物エネルギーの検出原理の確認、精度の目標作成を行う。

【実施内容・成果】

空間に一定量の次亜塩素酸水を噴霧した場合のペーハー値や ATP 反応を見る事を当初考案していた。しかし、直接それら測定するためには必要以上の高濃度の次亜塩素酸を広範囲に噴霧する必要性が有り、かつウイルスが小さすぎて画像処理を行うのが難しい事が分かった。そのため、検出法としては空間に噴霧した次亜塩素酸水の噴霧量を調べる事にしたが、次亜塩素酸の空間に噴霧された気化状態の次亜塩素酸水を直接とらえる事が技術的に困難な事が解った。

そこで次亜塩素酸水の噴霧量と相関が強いと考えられる温度、湿度の計測により空間に噴霧した次亜塩素酸水の噴霧量を以下で推定することとした。

- ① 次亜塩素酸水を閉鎖環境下で噴霧した場合の温度、湿度の変化と次亜塩素酸水による除菌効果をラボ実験にてデータを計測し温湿度と次亜塩素酸の噴霧量の相関データを作成
- ② ロボットに搭載した噴霧器の噴霧能力（距離）と噴霧時の温湿度の変化のデータを計測し、除菌ロボットとしての噴霧力と温湿度の相関データを作成

①②のラボ実験の相関データから除菌ロボットの除菌作業時の除菌効果を温湿度センサ（除菌センサデータ）から導きだせる事を確認した。

3-2. 除菌センサの実装開発（アンドロボティクス社）

【目標】

原理に基づきプロトタイプセンサを実現し無線通信にて情報を集約する除菌センサを開発する。

【実施内容・成果】

温湿度センサを NICT ソーシャル ICT 研究室開発 IoT 無線ルーターに BLE で接続し MQTT で情報を集約する除菌センサシステムを開発した。開発したシステムは 1-2 ロボットの空間移動制御方式の実装で開発した制御システム内に実装し、サーバーに設置した。

3-3. 除菌センサのセンサ性能測定（ユニトライク社）

【目標】

除菌センサの性能を測定し、定量的な除菌効果の数値化実験を行う。

【実施内容・成果】

噴霧器はユニトライク社製空間衛生噴霧器をアンドロボティクス社製ロボットに搭載し、次亜塩素酸水「ジースト」濃度 200mg/L (ppm) を噴霧した。

性能試験は下記の通り実施した。

- ① 3-2 で開発した除菌センサシステムを使った性能測定
- ② 遊離残留塩素試験紙を使い次亜塩素酸水に反応する色で測定高さや距離による濃度変化を計測
- ③ ②の結果を使い①の測定結果の妥当性を検証

結果として噴霧器から吐き出される噴霧はほぼ紡錘状に噴出方向に向かって噴霧され、噴霧中心部の濃度が高く、周辺部に行くに従って薄くなる。しかし、ある程度周辺まで行くと再び変化割合は小さくなる事が確認された。

また、高さ 500mm 以上から噴霧した場合は噴霧口から 500mm の距離のところ集中しているが、それより低くなると急激に周囲に広がる様子がわかった。これは床面からのホバーリング効果であると推測される。

実験の結果、温湿度センサシステムの値はほぼ実際の濃度分布に合致し、噴霧量に相関が有る事が確認できた。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1 自律走行除菌ロボットの空間移動最適化アルゴリズムの研究開発

本年開発した空間移動アルゴリズムの性能改善、実装のための処理の高速化及び複数ロボットの協調作業を想定した除菌の最適化アルゴリズムを開発する。さらに、除菌に関する計測結果を利用し除菌効果の予測・効率化を図るような学習型最適化アルゴリズムを開発する。ロボット制御プラットフォームでも複数ロボット間の衝突回避や、最適化のための協調機能を開発する。

研究開発項目 2 除菌効果の時空間可視化システムの研究開発

本年度開発したシステムの最適化の評価指針と評価方法を決定し、協調動作及び評価結果も含めた可視化システムを開発する。可視化システムにはロボットの動作時だけでなく走行時のログ機能とそれを随時 3D で再現確認出来る機能を加えて除菌効果を的確に把握可能とする。

研究開発項目 3 除菌効果を測定するセンサ技術の研究開発

本年度の成果である次亜塩素酸噴霧による温湿度変化に着目したセンサ開発を進め、さらに pH 値を計測する機能を追加し試作したセンサの改良を試みる。

除菌センサの計測結果を可視化システムに転送し、定量的に数値化したデータを蓄積・空間移動最適化アルゴリズムに利用する。

研究開発項目 4 除菌効果の最適化のための噴霧機能の評価（新規項目）

次亜塩素酸の濃度と噴霧粒子の大きさにより、除菌に最適な組み合わせをラボ実験し、指針を作る。そして最適な指針に沿った噴霧方式による除菌効果の計測および評価を行う。