

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 2 年 5 月 2 9 日現在

機関番号：2 4 4 0 2

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017 ~ 2019

課題番号：1 7 K 0 6 2 6 8

研究課題名 (和文) 高層ビル火災に放水可能な放水ヘリコプターシステムの開発

研究課題名 (英文) Development of Firefighting helicopter system for skyscrapers

研究代表者

今津 篤志 (IMADU, ATSUSHI)

大阪市立大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：8 0 4 4 0 2 4 6

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,700,000 円

研究成果の概要 (和文) : はしご車の放水が届かない高層建築物の火災に対して、ヘリコプターからホースを用いて小型のマルチコプターを懸下し、懸下されたマルチコプターが火災に接近して放水を行うシステムを提案した。懸下型マルチコプターのローターの出力の組み合わせによって、3自由度の姿勢を制御する手法を開発した。マルチコプターの振り上げとヨー方向制御によって放水飛距離を調節して目標である火災地点に放水を命中させる放水計画方法を提案し、固定点から14mのホースで懸下して屋内消火栓の7割程度の流量の放水を行うスケールダウン実験によって有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究期間中はスケールダウンモデルでの検証にとどまったものの、ぶれの少ない放水を行うことができ、到達点の調整もできることが分かった。これにより、はしご車による放水が到達しない高層ビル火災や、消防士が立ち入るのが危険なプラント・工場火災などの消火や延焼防止に適用できる可能性を示した。マルチコプターは観測や計測といった力を要しない用途に使われることが多いが、マルチコプターの新しい活用方法の一つを提案することができたと考えている。

研究成果の概要 (英文) : We proposed a system in which a small multicopter is suspended from a helicopter with a hose, and the suspended multicopter approaches the fire to discharge water to a fire in a high-rise building.

First, we have developed a method to control the attitude of the multicopter by combining the thrust of the rotors. And we proposed a water discharge planning method to hits the target fire point by adjusting the water trajectory by swinging up the multi-copter and controlling the yaw its direction.

Scaled down experiments illustrated the validity of the discharging system, where the multicopter was suspended by a 14m length hose from the fixed point and discharged water with rate of that of about 70% of the indoor fire hydrant.

研究分野：ロボティクス

キーワード：マルチコプター 消防 放水

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

1．研究開始当初の背景

高層ビル火災においては、はしご車の放水が水圧の不足で届かず、内部のスプリンクラーや防火壁を頼りにしている。そこで高層ビル火災に対して放水を行うことができる放水ヘリコプターシステムを開発する。放水は水の飛散を防ぐため、できるだけ火元に接近して行うことが望ましいとされているが、都市部でヘリコプターがビルに接近することは危険を伴うため現実的には難しい。

2．研究の目的

貯水タンクを持つ大型のヘリコプター（タンクヘリコプター）からホースを垂らし、ホース先端に取り付けた小型マルチコプター（ノズルマルチコプター）で火元に接近し、放水ノズルの向きを制御して火元に放水を当てて消火するシステムを提案する。模式図を図 1 に示す。

これによって、大型のヘリコプターは建築物から離れたまま、ノズルを火元に近づけて、効率よく放水を到達されることが期待できる。

本システムの設計方法、動作計画方法、制御方法を明らかにすることを目的とする。

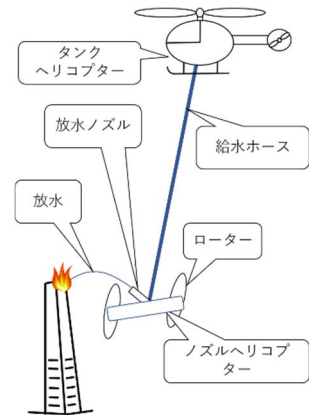


図 1 システムの模式図

3．研究の方法

(1) 提案したノズルマルチコプターの運動方程式を明らかにして、各ローターの出力の組み合わせを操作することで、懸下された剛体の 3 自由度を制御可能であることを確認し、各ローターの出力の組み合わせを用いた制御方法を提案する。

(2) カテナリー理論を用いて求めたノズルマルチコプターの振り上がり位置と、参考文献から得られた空気抵抗を考慮した放水軌跡の実験式とを組み合わせることで、マルチコプターの振り上げによって放水飛距離を調節して目標である火災地点に放水を命中させる放水計画方法を提案する。

(3) 物理演算エンジンである Physx エンジンを利用して、タンクヘリコプターとノズルマルチコプターを用いた放水のシミュレーションを作成する。ここで、ホースの柔軟性を模擬するため、ホースは剛体のチェーンのようにマルチボディダイナミクスの考え方でモデル化する。

(4) ノズルマルチコプターの縮小スケールモデルを作成する。実スケールではタンクヘリコプターのダウンフォースの影響を避けるため 50m以上のホースを用いて懸下することを想定しているのに対して、固定点から 14mのホースで懸下され放水を行うことができる実験機を製作し、放水実験を行う。

4．研究成果

(1) 懸下されたノズルマルチコプターに働く重力と、ホースからの張力、放水のノズルでの反力、を考え、図 2 のようなローター配置を考案した。重力は主としてホースの張力で支え、そこから振り上がりと放水反力を支える水平な方向に主となるローター（右図の F1～F4）を向けた。また主となるローターを複数にしてノズルを挟むように配置したことで、これらのローターの推力差によってマルチコプターのヨー方向の制御を行うことができる。実験を行ったところ、水平方向で主ローター方向と直交する風による外乱に非常に弱かったため、そちら側に向いたローター（F5, F6）を追加したことで、水平外乱にも対応できるようになった。

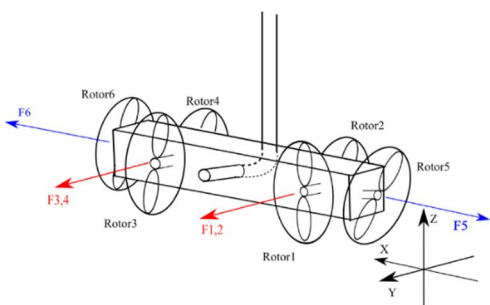


図 2 ローター配置

(2) タンクヘリコプターを原点として、そこからカテナリー理論を用いてホースの形状を求めることで、ノズルマルチコプターの位置を数値的に算出した。ここで、ノズルマルチコプターに働く重力と、ホースからの張力、放水反力がバランスする解を採用している。さらに、そこから、引用文献[1]に示されている、空気抵抗下での放水軌跡を求める実験式を使って、放水の軌跡を算出した。その計算結果例を横から鉛直断面で見た図を図 3 に示す。

主ローターを用いてノズルマルチコプターが振り上がることで、ノズルマルチコプターが火元に近づくとともに、放水の放物線角度が上がり、到達距離が長くなっていくことが分かる。

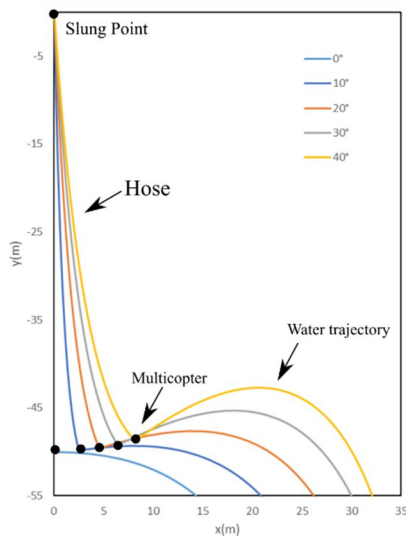


図3 放水軌跡

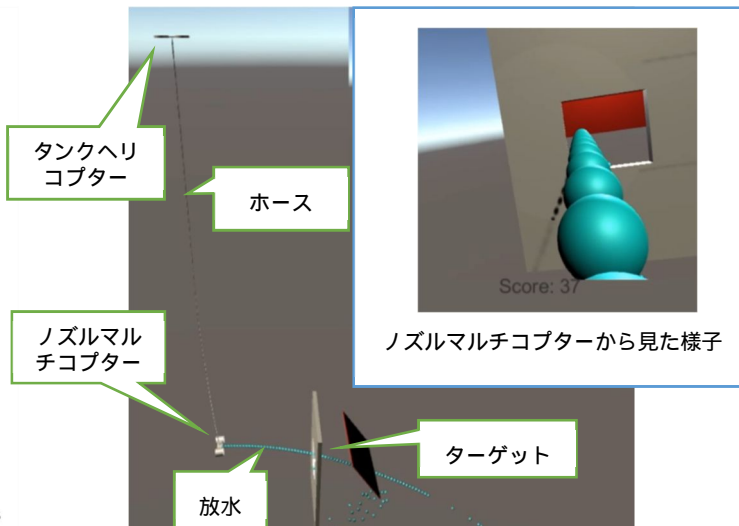


図4 放水シミュレーション

3 次元的には、図示した平面をヨー方向に回転させることで、目標に命中させることができる。

(3) Physx エンジンを利用してシミュレーションを Unity 上に作成した様子を図 4 に示す。

システムを模擬し、提案した制御方法によって安定化し、目標に放水を命中させることができたが、タンクヘリコプターを飛行させる実験環境が十分整わなかったため、実機とシミュレーションのパラメータを十分合わせるまでには至らなかった。

(4) 作成したノズルマルチコプターは、大きさ 1300x450x450mm、質量 5.1kg、ホース内径 25mm となった。写真を図 5 に示す。

この機体を用いて、飛距離 10m、放水量 85L/min の放水を実現し、7m 先の目標物に放水を命中させることができた。この放水量は屋内消火栓の 7 割程度の流量に相当する。ここで、ヨー方向は、カメラ画像を用いて目標値を正面で捉えるようにするフィードバック制御を行い、振り上げ方向は、放水の着地点を検出することができなかったため、目視で目標値を調節することによって、目標に放水を命中させた。実験の様子を図 6 に示す。

放水時の振り上げ方向の角度と、操作量を図 7 に示す。角度のぶれは 1 から 2deg ほどに抑えられ、放水を命中させるに十分な精度が得られた。



図5 ノズルマルチコプター



図6 放水実験の様子

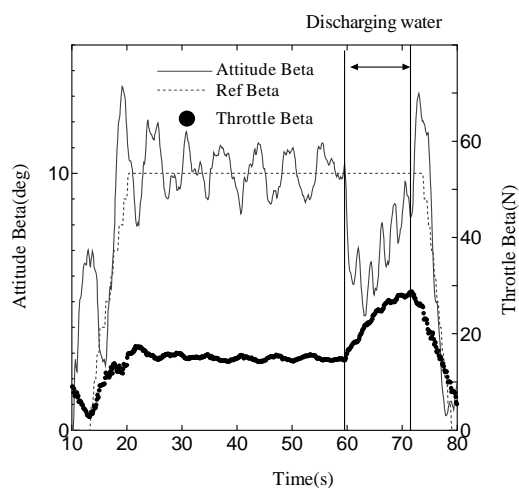


図7 振り上げ方向の角度、操作量

タンクヘリコプターとノズルマルチコプターを組み合わせた放水実験を行うべきであったが、十分な推力を持つタンクヘリコプターが準備できなかったため、本期間中には実施できなかった。今後の課題とさせていただきたい。

<引用文献>

[1] 川上謙太郎, ノズル・ゼットの水平到達距離に関する研究, 土木学会論文報告集 第 191 号.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大久保匠馬, 今津篤志
2. 発表標題 懸架型マルチコブタを用いた放水に関する研究
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保匠馬, 今津篤志
2. 発表標題 懸架型マルチコブタに関する研究
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚谷康平、藤原翔、今津篤志
2. 発表標題 懸架式放水マルチコブターに関する基礎的研究
3. 学会等名 ロボティクスメカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 消火システム、消火方法、制御装置、及び制御方法	発明者 今津篤志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-030995	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----