

## 逐次的センサネットワーク構築による建物火災の人命救助活動支援

Support of Lifesavings in Building Fires  
with Dynamic Construction of Sensor Networks

奥田 裕樹†  
Yuuki Okuda

稲葉 大祐‡  
Daisuke Inaba

原田 史子†  
Fumiko Harada

島川 博光†  
Hiromitsu Shimakawa

## 1. はじめに

建物火災が発生すると、火災現場に駆けつけた消防隊員は建物内部に進入し人命救助活動をする。人命救助活動をする消防隊員は、救助を必要とする人を検索するため、一般の人が立ち入ることのできない危険な場所に入ります。そのような場所では、救助を必要とする人だけでなく人命救助活動をする消防隊員も死傷する可能性があり、火災による消防隊員の死傷者数は少なくない [1]。

建物内部に進入して人命救助活動をする消防隊員は、濃煙熱気の中で救助を必要とする人を検索する救助者と、安全な場所で待機し、救助者に指示を出す待機者とに分けられる。救助者は濃煙熱気の中、救助を必要とする人の検索に集中するため、退路の安全性を把握することは困難である。さらに、待機者も救助者の退路の安全性が把握できず、救助者に適切なタイミングで退却指示を出せない。救助者は火災の拡大により退路が塞がれても判らず、帰還が困難になると救助者の救助も必要になってしまふ。

そこで本論文では、救助者が身につけている命綱を使って、待機者が救助者の退路の安全性を把握する手法を提案する。本手法では、救助者が移動した経路にセンサノードを残す。これらセンサノードを用いて逐次的にセンサネットワークを構築することで、待機者は救助者の退路の安全性を把握することができる。

## 2. 消防活動の現状

現在の人命救助活動における指示の伝達は、救助ロープだけに頼っている。救助ロープは待機者と救助者を繋ぎ、救助者が退路を見失わないために用いる命綱であり、救助者は体にロープの先端を固定し、待機者はロープリールを保持する。待機者は救助者に救助ロープを用いて簡単な指示を出すことができる。

救助者が救助を必要とする人の検索をする濃煙熱気の中は、自分の手の平すら見えないため、救助者は距離感や方向感覚が鈍る。火災の拡大や建物の倒壊により退路が塞がってしまうと、救助者が自力で帰還することは難しい。さらに、火災や建物の倒壊で救助ロープが切れてしまえば、退路をたどることすらできない。そのため、救助者が自力での帰還が不可能になる前に、待機者は救助者に退却指示を出す必要がある。

消防活動の支援情報システムとして、救助者の位置を特定するものがある [1]。しかし、救助者・待機者は共に救助者の退路の安全性を把握する手段がない。このため、救助者は退路が塞がれても判らず、不安との戦いのためパニックに陥ることすらある。

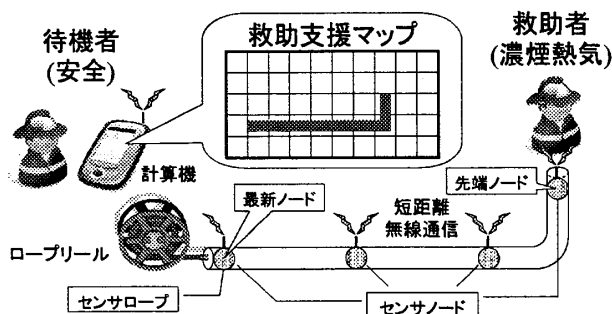


図1: システム概要

## 3. 建物内部状況を収集するセンサロープ

## 3.1 センサロープを用いた救助支援

待機者が救助者の移動した経路、経路の危険度、救助者の位置を把握することができれば、救助者に適切なタイミングで退却指示を出すことができるため、救助者は退路の心配をせずに安心して救助活動に専念できる。本論文では、建物火災の人命救助活動において、逐次的にセンサネットワークを構築し、建物の内部状況を待機者に伝達する手法を提案する。ここで建物の内部状況は、救助者の移動した経路、経路の危険度、救助者の位置を指す。本手法の概要を図1に示す。本手法では、一定間隔にセンサノードが取り付けられた救助ロープを用いる。これをセンサロープと呼び、センサロープの先端から一番近いセンサノードを先端ノード、ロープリールから一番最後に引き出されたノードを最新ノードと呼ぶ。消防隊員はセンサロープを一般的な救助ロープと同様に扱うものとする。すなわち、救助者の体にセンサロープの先端が固定され、待機者はセンサロープが巻かれたリールを保持する。この場合、救助者は先端ノード付近にいると推測できるので、本手法では先端ノードの位置を救助者の位置として扱う。

待機者のいる場所から人命検索をする場所まで救助者が移動することによって経路に残された、センサロープのセンサノードによって、センサネットワークが構築される。センサネットワークを構成する各センサノードは、センサ情報としてセンサノードの方位角とセンサノード付近の温度・照度を取得する。センサ情報の収集は、待機者の保持する計算機が各センサノードに対してセンサ情報の送信要求を送信し、それに各センサノードが応答することにより行われる。待機者の保持する計算機では、受信したセンサ情報により、建物の内部状況を示す救助支援マップが作成され、待機者は救助支援マップによって建物の内部状況を把握することができる。

## 3.2 逐次的なセンサネットワークの構築

本手法では、救助者の移動した経路に残るセンサロープに一定間隔で付けられた、無線通信機能付きセンサ

† 立命館大学 情報理工学部

‡ 立命館大学大学院 理工学研究科

ノードにより、逐次的にセンサネットワークを構築する。センサノードには方位角センサ・温度センサ・照度センサが搭載される。センサロープは救助者が移動するとロープリールから引き出され、センサノードはロープリールから出たとき設置状態となる。新しく設置状態になったセンサノードはその時点の最新ノードであり、最新ノードはセンサノードが新しく設置状態となるたびに更新される。そして、センサノードはロープリールに巻かれると設置状態から未設置状態に戻り、1つ前のセンサノードが最新ノードとなる。

各センサノードは相異なる固有の識別番号を持ち、待機者の保持する計算機は、各センサノードの取り付けられたセンサロープ上の位置の情報を識別番号と対応付けて予め記憶している。この識別番号をセンサ情報に付加することにより、待機者の保持する計算機は、センサ情報の送信元を特定できる。また、センサノードの通信範囲はセンサノードの取り付け間隔よりも長く、センサノード間をホップすることにより、センサ情報が待機者の持つ計算機に伝達される。そのため、一部のセンサノードが破損しても通信に問題はない。

### 3.3 救助支援マップ

待機者の保持する計算機は、各センサノードから送られてくるセンサ情報をもとに、救助支援マップを作成する。救助支援マップは、最新ノードから先端ノードまでの経路、各ノード付近の温度と照度、救助者の位置を示す。したがって、待機者は救助支援マップに示される温度と照度からその場所の危険度を推測することにより、建物の内部状況を把握することができる。また、救助支援マップは消防隊員が用いるセンサロープによって作成されるため、外部の資源に依存しない。

## 4. 救助支援マップの作成

救助支援マップのイメージを図2に示す。救助支援マップは新しいセンサ情報を得るたびに更新される。待機者の保持する計算機は、周期的に全てのセンサノードに対してセンサ情報の送信要求を出すことにより、各センサノードの同時刻のセンサ情報を獲得する。センサ情報の送信要求を受信したセンサノードは、設置状態であればその時刻のセンサ情報を待機者の保持する計算機に送信する。

救助支援マップにおいて、経路は直線と曲り角の組み合わせで表現される。各ノードが同時刻に取得した方位角を用いることにより、最新ノードから先端ノードまでの経路を推定できる。経路が直線の場合は連続するノードの方位角がほぼ等しく、曲り角の場合は連続するノードの方位角に大きく差が出る。たとえば、連続する2つ

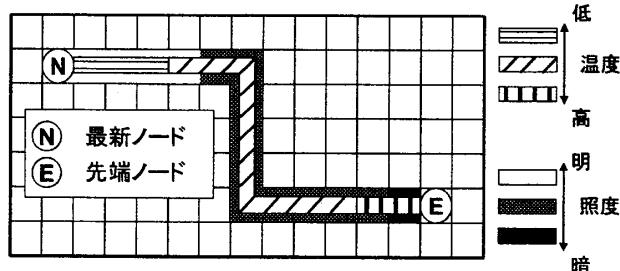


図2: 救助支援マップ

以上のノードの方位角がほぼ等しい場合、それらのノード間は直線であると推定でき、ノード間の距離が一定間隔であることから、直線の長さも求めることができる。連続する2つのノードの方位角が順に  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  の場合、方位角の差は  $90^\circ$  であり、それらのノード間は直角に曲がった曲り角であると推定でき、ノードの順番から曲り角は進行方向に対して右に曲がっていると分かる。

センサノードに搭載された温度センサと照度センサにより収集された各センサノード付近の温度と照度を、それぞれ救助支援マップ上に色分けして表示する。救助支援マップにおいて経路が線分で表され、温度と照度は、それぞれ線分の内側、外側に表示される。待機者は救助支援マップに表示された温度と照度をもとに経路の危険度を推測する。たとえば、高温な場所は危険であり、低温でかつ明るい場所は比較的安全である。明るい安全な場所と比べて暗い場所は、煙が充満しているか電気系統が故障しており視界不良である。このように、救助者支援マップが経路を線分で表し、温度と照度を色で表すことにより、待機者は救助支援マップを見るだけで、即座に建物の内部状況を把握することができる。

## 5. 関連研究

人命救助活動を支援するシステムとして、レスキューロボットを用いたシステム [2] が挙げられる。被災地にカメラや各種センサが搭載されたレスキューロボットを導入させ、遠隔操作をすることで被災地の情報を収集する。遠隔操作者は得られた情報から被災地の状況を判断し、これらの情報を消防隊員に伝えることにより人命救助活動を支援する。遠隔操作者はレスキューロボットのカメラから得られる画像をもとに経路を判断するため、経路の具体的な状況を知ることができるが、レスキューロボット周辺の情報しか知ることができない。また、遠隔操作者は画像データから災害地の状況を判断するため、被災地で人命検索をすることができるが、災害状況の判断に時間がかかる。本研究の救助支援マップは、センサ情報をもとに常時更新されるので、消防隊員は建物の内部状況をリアルタイムに把握することができ、災害状況を瞬時に判断できる。

## 6. おわりに

本論文では、建物火災の人命救助活動において、センサロープを用いて逐次的にセンサネットワークを構築し、建物の内部状況を待機者に伝達する手法を提案した。今後は、本手法の有用性を検証するために、実装と評価を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 総務省消防庁, 平成19年版消防白書, ぎょうせい, 2007.
- [2] I. Kazuyuki, Y. Zhixiao, S. Kazuhiko, H. Kazuyuki, G. akio, and M. Fumitoshi, "A rescue robot system for collecting information designed for ease of use - a proposal of a rescue systems concept," *Advanced Robotics: The International Journal of the Robotics Society of Japan*, vol.19, no.3, pp.249-272, 2005.