

氏 名	臭 周 燭 <small>おう じゅうわん</small>		
授 与 学 位	博 士(工 学)		
学 位 記 番 号	理工博甲第626号		
学 位 授 与 年 月 日	平成26年3月17日		
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条1項		
研 究 科, 専 攻 の 名 称	理工学研究科(博士後期課程)システム設計工学系専攻		
学 位 論 文 題 目	Development of Fire Sprinklers and Extinguishing System for Residential Application		
論 文 審 査 委 員	主 査	山 口 大 学 教 授	江 鐘 偉
		山 口 大 学 教 授	田 中 幹 也
		山 口 大 学 教 授	加 藤 泰 生
		山 口 大 学 准 教 授	望 月 信 介
		山 口 大 学 助 授	森 田 実

## 【学位論文内容の要旨】

In residential installation, methods for supplying water to the sprinkler system include direct connection to the domestic water supply, use of high pressure water tank or storage tank with booster pump. Direct connection to the domestic water supply line is generally popular in most residential homes consisting of up to two floors. However, in case where the residential structure is situated in elevated location or away from the domestic water supply line, the significant drop in water pressure and flow may reduce the capability of fire sprinklers to extinguish a fire. In this study, the practicality of direct connection to domestic water supply line with additional auxiliary water tank and booster pump to guarantee successful operation of the sprinkler system is investigated. The investigation was done by first surveying the conditions of domestic water supply system in terms of water pressure, flow rate and piping network. Actual fire tests were conducted to verify the performance of the system against varied water pressure, flow rate and sprinkler head K-factors. It was found that additional water tank with electric pump is required if the pressure at the sprinkler head is lower than 0.1 MPa. The findings have led to the design and development of a compact package-type fire sprinkler system for residential fire protection application.

Sprinkler head plays an important role in a fire extinguishing system. For residential application, the sprinkler head must be designed in accordance with related international standards. The K-factor, water spray distribution pattern and response time index (RTI) among others are the critical characteristics required of a sprinkler head. Existing design of a fusible link, flush, pendent type residential sprinkler head is perceived to have some disadvantages. The deflector sub-assembly which holds the valve cap in place at the orifice in order to prevent water leakage when the sprinkler is on standby mode fails to descend quickly enough after the heat collector sub-assembly is released following the melting of the fuse metal. The existing sprinkler is consists of a large number of components that is thought to contribute to high product cost. In this study, alternative design is explored with the aim of solving the problems in the existing sprinkler head design. The frame and deflector sub-assemblies are integrated into a single component and an innovative design of the deflector discharge ports is introduced taking into account its functional aspect - which is to distribute water into the area as even as possible. Several design parameters are explored and prototypes are tested to ensure that the final design has met the standard regulations in terms of water spray pattern and response time index (RTI). The proposed final sprinkler head design is relatively slimmer, consists of six-piece less assembly components and over 32% lighter than the existing design. Tests show that the proposed design can spray water evenly into the area and have an RTI value that meets the requirement for residential sprinkler head.

In modern residential houses, nursing homes for elderly and physically-impaired persons, a fully automatic fire protection system is seen to be necessary to ensure safety against the hazards brought by fire. While the current communication technology within the fire-fighting industry is mostly still based on wired system, there is a growing need for the application of wireless communication between fire protection system

components with the capability of home network integration. Zigbee-equipped wireless smoke sensors along with IT technology can activate alarms if a fire occurs. In this study, the ubiquitous technology is implemented for the purpose of ensuring fire safety in residential buildings through wireless fire detection and extinguishing system. This system also aimed at reducing installation cost due to space restriction and promoting ease and practicality of installation in existing residential buildings. In effect, the building interior design is not compromised and total installation cost can be significantly reduced. The main ideas of the proposed fire detection and extinguishing system were: firstly, in housing condition where it is not easy or impractical to install conventional fire detection equipment, a smart fire sensor network using wireless communication system that activates and sends warning alarm within the building, to the building residents or owner, and the fire department was developed. Secondly, to implement an improved compact water-based fire extinguishing sprinkler system with higher discharge so that the fire can be effectively extinguished at the early stage. The compactness of the extinguishing system is believed to cut the total installation cost. The two systems were integrated for the development of practical wireless fire detection and extinguishing system for residential building applications. Experimental equipment for water supply with specific type of sprinklers and wireless communication were developed and tested to verify the system performance.

## 【論文審査結果の要旨】

近年、住宅火災が建物火災の約60%にのぼる。また、死者数で見ると、住宅火災による死者数が火災による総死者数の55%を占め、65歳以上の高齢者の死者数が住宅火災による死者数の60%も占め、一般者より2.7倍も高い。これは高齢者が体の不自由で逃げ遅れのためと考えられる。特に高齢者や障害者のための福祉施設での火災における多数の犠牲者が問題となっている。これらの被害を減らすため、福祉施設や住宅などに安価で簡便に設置できる住宅用スプリンクラー消火システムの開発が求められている。最近、スプリンクラー消火システムを住宅に導入しやすくするため、コスト面を配慮した消防法の改正により水道管に直結することが認められている。しかし実際運用しようとするとなかなか問題がある。例えば、地域における水道水の圧力変動や家庭用水道管の太さの違いなどで直結できないことがある。そのほか衛生面などの問題もある。本研究では、低コストかつ設置容易なスプリンクラー消火装置を開発すると共に、本装置にも適応可能な低コストで高性能なスプリンクラーヘッドの設計開発、さらに、ICT技術を活用した火災・ガス漏れ等の自動通報と自動消火システムの開発を目指す。

本論文は緒論・結言を含め6章から構成されている。第1章は研究の背景、既存のスプリンクラーシステム設計の考え方及び本論文の概要について述べている。第2章では既存のスプリンクラーシステムの概要、火災実験や評価方法を説明し、研究の方向性を述べている。第3章では低コストで住宅に簡単に設置できるコンパクトスプリンクラー消火装置の開発を行った。コストを下げるため、水道の圧力変動や水道管の太さの違いを十分に考慮し最低必要の補助水タンクの容量を実験的に求めた。また、停電時にも対応できるようバディリーに自動切り替える駆動システムも開発した。さらに、本装置に対して実環境下の火災実験を行い、本装置の有効性、日本ならびに韓国の消防法の要件基準を満たすことを確認できた。第4章においては、散水分布性能の向上とコスト削減を目指した新しいスリムタイプスプリンクラーヘッドの設計開発を行った。スプリンクラーヘッドは、内部プレート、外部プレート、保持リング、フレーム、可溶片、デフレクターなどから構成され、構造的に非常に複雑のため、スプリンクラーヘッドの設計開発は実験と経験に頼っている。本研究では、内部プレート、外部プレート、保持リング、フレームなどの重要な部品に対する力学モデルを立て、スプリンクラーヘッドを組み立てる際に応力解析方法を提案した。実証実験により理論結果が非常に合致することを確認できた。また、新しく設計したヘッドはスリム化し、部品数も6つ減らすことができ、既存のものより重さを32%軽くすることができた。また、水圧の異なる環境下で散水分布実験を行い、現在市販の数種類のスプリンクラーヘッドの特性と比較検証をした。本開発したスプリンクラーヘッドは既存のものに比べ散水分がかなり改善された。第5章ではZigbee無線デバイスと警報器を内蔵した火災

検知器とガス漏れ検知器を設計開発し、ICT 技術を活用した遠隔・自動通報システムを開発した。検知器が異常を検知するとまたは火災が発生すると、その情報をすぐに消防署に通報すると同時、あらかじめ登録されている家族や友人へ連絡する。さらに、実住宅環境下において火災実験を行い、無線警報器とスプリンクラーの配置の最適化も考慮して、本システムの有効性と実用性が確認された。第 6 章はまとめである。

本審査ならびに公聴会における質問内容は、日本における水道直結スプリンクラーシステムの現状ならびに本研究で開発したシステムの市場性やコストに関するもの、摩擦モデルによるスプリンクラーの力学解析に関するもの、スプリンクラーの部品件数削減による機能への影響に関するものなどについてであった。いずれの質問に対しても発表者からの確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の学位論文に十分値するものと判断した。