

高機能型携帯警報器の研究開発

有山 修平*, 吉村 延雄*, 鎌形 健司*, 大竹 晃行**

概 要

本研究では、消防隊員に装着されている携帯警報器について、安全性を更に強化することを目的として、不必要な警報を防止し、警報音とともに電波による救難信号の送受信機能を備えた高機能型の携帯警報器を製作した。また、電波による救難信号の到来方向を感知する隊員探索装置も併せて製作し、事故隊員の早期発見を目的としたシステム構成により、更なる安全性の向上を図った。

製作したこれらの機器に対し各種実験を行い、その有効性を検証した。

1 はじめに

消防活動時における隊員の安全性の向上は恒久的な課題と言える。

現在、当庁では災害現場で活動する隊員について、身体動作の無い状態（静止状態）が 25～30 秒継続すると音響警報を発する携帯警報器（以下「現用機」という。）を装着させ安全管理の一方策としている。

しかし、現用機は活動中に不必要な警報を発することが多く、この点を解決するため、当室では平成 13 年度には、複合センサ監視による誤報防止機能を強化した携帯警報器を試作した。

本研究では、更に安全かつ災害現場で有効に活用できることを目的として、平成 13 年度試作機の各種設定を精査すると共に、音響警報に加え電波による救難信号を発信する機能などの新機能を搭載した「高機能型携帯警報器（以下「高機能警報器」という。）及び「隊員探索装置（以下「探索装置」という。）を試作し有効性を検証した。

2 試作した機器の概要

製作した警報器の主な特徴は次のとおりである。

(1) 高機能警報器

ア 筐体

筐体は、半透明の樹脂を前面に配し、内蔵された高輝度LEDの視認性を向上させている。また、操作は上下の押しボタンと電源キースイッチのみで行えるよう簡略化を図り、更に誤操作防止を図っている。

また、大きさ・重さ、防水性能や長時間使用可能などについても現用機とほぼ同様程度の性能を持たせている。

(表 1、写真 1・2 参照)

表 1 主要部諸元性能

項目	説明
筐体材質	ポリカーボネート(黒色部分は導電性)
大きさ・質量	68.2×93.5×62.2mm(ベルト固定用保持金具含む)・287.7g(電池含む)
電源	マグネットスイッチによる強制起動方式(単三アルカリ乾電池 4 本、動作時間約 50 時間、連続警報時間約 25 時間)
防水性能	日本工業規格(JIS C 0920)防噴流型試験に準ずる性能

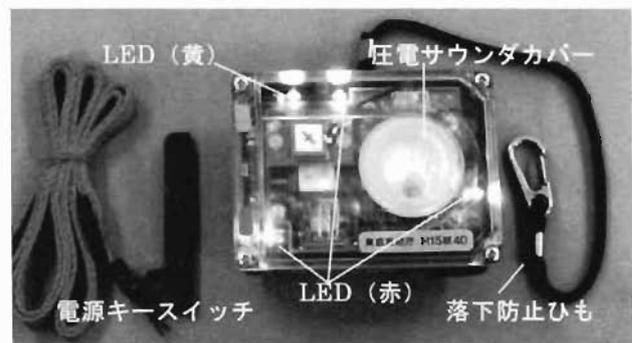


写真 1・2 外観及び各部名称

* 第一研究室 ** 特殊災害課

イ 電源スイッチ

電源スイッチは、マグネットのキースイッチが外れることにより起動する機構とした。キースイッチは専用の紐により庁舎または車両に固定しておくことにより、防火衣装着時或いは車両下車時には自然にキースイッチが外れ強制的に電源が投入される（高機能警報器は常に防火衣の安全帯に取り付けられている）ことにより、スイッチの入れ忘れ防止を図っている。

ウ 監視項目

表 2 監視項目

監視項目	監視方法または内容
静止状態	静電容量加速度センサによる
倒れた状態	傾斜センサによる
単独行動	単独行動センサ（各高機能警報器からの信号の強度により距離を計測）による
救難信号	他の警報器からの救難信号を受信したか
電源電圧	電池残量が一定時間使用できるものであるか

高機能警報器は、危険状態を総合的に判断するため、現用機に比べより多くの項目を監視している。監視項目は表 2 のとおり。

エ 警報の種類

各警報はそれぞれ異なる音色（本警報と手動警報は同じ音色）とし、表 3 に示す警報を発する。また、非警報状態（通常の状態）では、赤い高輝度 LED を 1 秒に 1 回点滅させているが、警報状態では点滅を早く点灯時間も長くし、警報状態での視認性を更に向上させている。

表 3 警報の種類

警報名	音圧※ 1	説明
予備警報	80dB	本警報の予告警報（4 種類の警報音を製作した）
本警報	90dB	警報の 10 秒後から電波による救難信号送信※ 2
手動警報	90dB	警報の 10 秒後から電波による救難信号送信※ 2
他者警報	80dB	救難信号を受信したことを知らせる警報。黄色 LED 点灯と音響（音響は 10 秒で停止※ 3）
低電圧警報	60dB	本警報が 1 時間継続できない電池残量になった際鳴動※ 4

※ 1 1m の位置で測定

※ 2 誤って本警報（手動警報）を発報してしまった場合を想定し、解除する時間的余裕を持たせ 10 秒後からの送信とした。

※ 3 事故隊員が発する警報器が聴こえない等の、捜索活動に支障を生じさせないため、10 秒間で音響自動停止とした。

※ 4 実際には、安全性を鑑み低電圧警報後 2 時間の本警報動作が可能である（20℃において）。

オ 各種設定

不必要な警報を防止するため、先に述べた監視項目の状態を総合的に判断して装着者の状態を表 4 のパターン

に分け、警報までの時間と加速度閾値を変化させた。加速度センサによる静止状態の判断は、身体にかかる加速度閾値未満になると静止状態と判断する。

表 4 静止時の警報を発するまでの時間と加速度閾値

状態	静止状態の継続		本警報 (救難信号)	加速度 閾値
	予備警報まで ※ 1	予備警報※ 2		
倒れていない場合 (身体傾斜 60° 未満)	60 秒	30 秒	音響警報 発報（10 秒後から 救難信号 送信）	0.8 m/sec ²
倒れている場合 (身体傾斜 60° 超える)	25 秒	20 秒		1.5 m/sec ²
倒れており 20m 以内で他隊員なし	25 秒	10 秒		1.5 m/sec ²

※ 1 「予備警報までの時間」積算中に（倒れや 20m 以内に他隊員がいなくなる等）状態が変化し「予備警報までの時間」が変化した場合、変化後の「予備警報までの時間」を採用する。既に変化後の予備警報までの時間を経過している場合には、直ちに予備警報に移行する。

※ 2 「予備警報」中に（倒れや 20m 以内に他隊員がいなくなる等）状態が変化し「予備警報」時間が変化した場合は、短い方の予備警報時間を採用する。既に「予備警報」時間を満了している時には、直ちに「本警報」に移行する。

(2) 探索装置

本装置は、配列された 7 本のアンテナを用い、その指向性を電子的に制御することにより、救難信号到来方向を表示するものである。

ア 構造

表 5 主要部分諸元

項目	説明
筐体材質	透明部分ポリカーボネート、黒色部分ウレタン樹脂
大きさ・質量	高さ 241mm 幅 204mm ・ 1.35 kg（電池含む）
電源	単三アルカリ乾電池 6 本、動作時間約 10 時間
防水性能	日本工業規格（JIS C 0920）防噴流型試験に準ずる性能

円形状の半透明樹脂カバーの内部には、円周上に 12 個の赤い LED、中央にはアンテナが配列されている。筐体下部には握手があり、片手での保持を考慮した。電源スイッチは 2 秒以上の長押しで反応する構造とし、誤操作防止を図った。落下防止ひもは、立位での使用時や搬送時に、首に掛けて使用でき、落下防止を図っている。

表示部分は高輝度 LED を半透明の筐体越しに視認できる構造とし、濃煙等の悪条件下においての視認性を考慮した。（表 5、写真 3・4 参照）

イ 監視項目

表 6 監視項目

監視項目	表示
救難信号到来方向探知	円周上の12個の赤いLEDの点灯により表示※1
電源電圧	1時間使用できない電源電圧となった時に、4つの緑LEDが点滅することにより表示※2

※1 複数の救難信号が出ている時には、複数個点灯。
 ※2 通常時は常時点灯し、暗所における方向判断を容易にしている。

救難信号は 2.4GHz 帯の無線波を使用したデータ信号であり、救難信号を受信しない時には到来方向を示す赤いLEDは点灯することは無く、不要な点灯を防止し、妨害電波等に対しても予防対策を図っている。



写真3 探索装置外観及び名称（上部）



写真4 探索装置外観及び名称（側部）



図1 救難信号を活用したシステムイメージ図

3 試験配置による検証

高機能警報器及び探索装置について、実戦配置を念頭に置いた使用条件下での特性を把握することを目的とした検証を実施した。

(1) 試験配置概要

ア 試験配置期間

平成 16 年 2 月（約 1 ヶ月間）

イ 配置消防署、配置部隊及び数量

表 7 試験配置数量

所属	隊種別	隊数	高機能警報器数量	探索装置数量
A 消防署	舟艇隊	1	7	0
	ポンプ隊	2	7	1
B 消防署	はしご隊	1	3	
	特別救助隊	1	6	
C 消防署	ポンプ隊	2	7	1
	はしご隊	1	3	
D 消防署	ポンプ隊（化学機動中隊）	1	6	0
E 消防署	特別救助隊（山岳救助隊）	1	6	1

ウ 検証方法

各消防署において、訓練等を実施しその結果についてアンケート調査を実施した。

B 消防署配置の携帯警報器 16 器のみは、予備警報音を変更し 4 種類の異なった予備警報音のものを配置し、その効果も合わせて検証した。

(2) 結果

高機能警報器使用者 125 名、探索装置使用者 30 名からアンケート結果を得た。

回答は、5 段階評価とし、「良い」+ 2 ポイント、「やや良い」+ 1 ポイント、「普通」± 0 ポイント、「やや悪

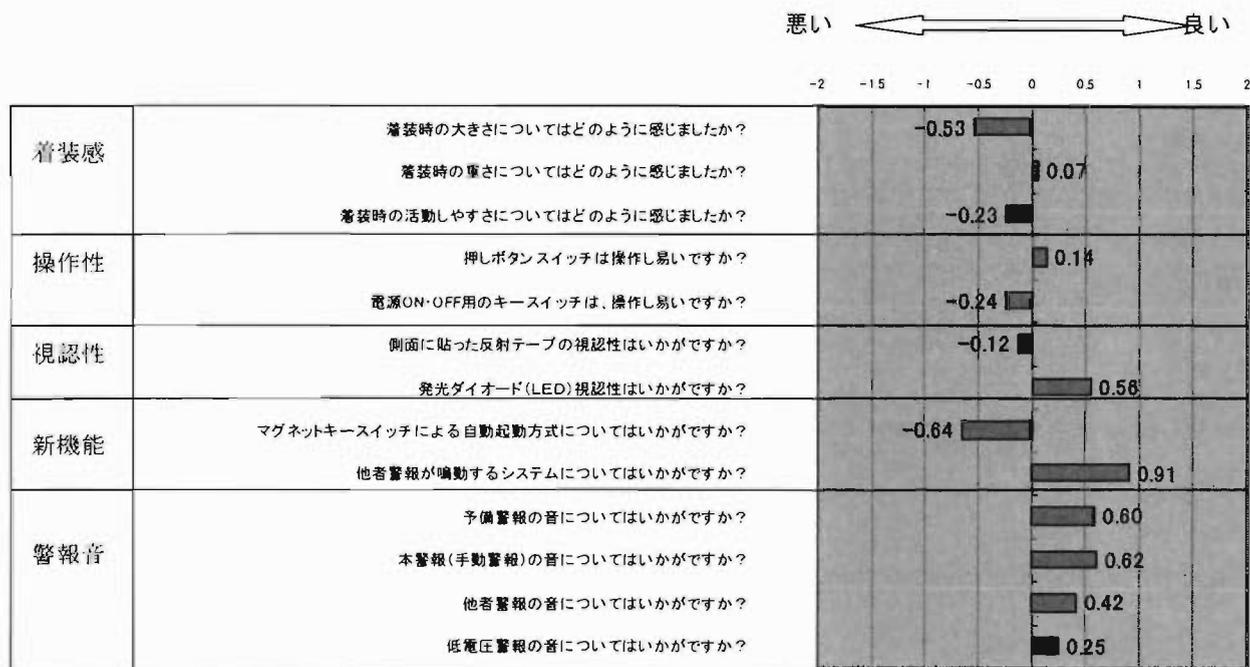


図2 高機能警報器アンケート結果

い」-1ポイント、「悪い」-2ポイントにそれぞれ点数化し、平均値を算出した。ただし、「良い・悪い」で回答できない、項目については、項目別に回答者数の割合を算出した。

質問内容及び結果は以下のとおり。

ア 高機能警報器アンケート結果（5段階評価）（図2参照）

① 着装感について

高機能警報器を現用機と比較すると、大きさはほぼ同等であり質量は約60g増となっている。しかし、マイナス評価となったのは、「大きさ」「活動しやすさ」の2項目であった。

理由として、「かがんだ姿勢で体に当たる」「腕に当たる」「厚み大きい」等が挙げられた。

② 操作性について

「押しボタンスイッチ」については、プラス評価となったものの、「もう少し大きくして欲しい」等の操作に支障を訴える意見も見られた。

「キースイッチ」についてはマイナス評価となり、理由の大部分が「磁力の弱さ」を挙げ、保管及び出向時等の誤発報を懸念するものであった。

③ 視認性について

「発光ダイオード(LED)」に関しては、大きくプラス評価となっている。高輝度タイプのLEDを複数配置したことにより「暗所で、LEDの発光で互いに位置を確認できる」「LEDの発光は、暗所で精神的に強い」などの意見が挙げられた。しかし「反射テープ」に

関しては、わずかにマイナス評価となった。

④ 新機能について

「マグネットキースイッチによる自動起動方式」については、大きくマイナス評価となった。理由として防火衣装着中にはスイッチが切れないことを心配するものが大半であった。

それに対し、「他者警報が鳴動するシステム」については、大きくプラス評価であり、「騒音の大きな場所では有効である」「早期に事故を把握しやすくなった」などの長所が挙げられた。

⑤ 警報音について

警報音については、全ての警報についてプラス評価となった。しかし、「騒音の大きな場所では聞こえにくい」「音が小さい」といった意見も見られた。

イ 高機能警報器アンケート結果（5段階評価以外）

① 時間設定について

時間設定については全ての項目で、「ちょうど良い」という意見が約70%を占めた。「現用機では急に本警報が鳴り出してしまう印象があったが、今回の警報器は時間的に余裕があり活動しやすい」といった意見も寄せられ、現用機に見られた不必要な警報の要因の対策として有効に機能したと思われる。

② 予備警報音が複数あることについて（B消防署）

40%の者が「良い」「やや良い」と回答する一方、41%の者が「悪い」「やや悪い」と評価している。聞き慣れない警報音である上、警報音が増えたことにより、戸惑いが見られたと思われる。（図3）

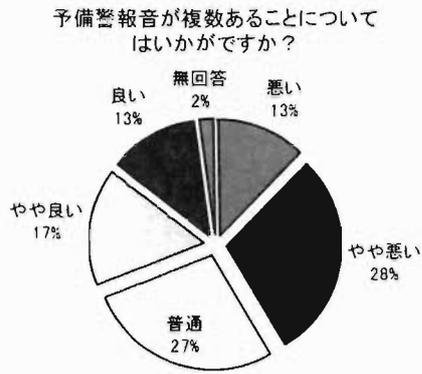


図3 予備警報について



写真5 高性能警報器の装着状況

③ 不必要な警報の減少について

不必要な警報が「減った」「少し減った」と回答したのは全体の58%であった。(図4) 訓練による使用でも、本警報まで至った誤発報は報告されていない。「少々の振動でも感知するので、運行中の車両内では発報しなかった」との意見も挙げられており、現用機に比較し、不必要な警報は大幅に減少したと思われる。

現用機に比べて、不必要な警報は？

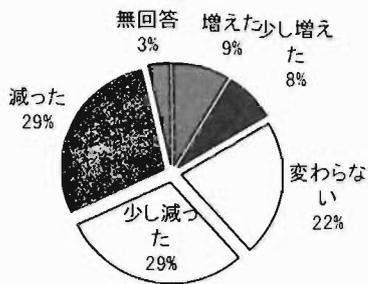


図4 不必要な警報について



写真6 探索装置の使用状況

ウ 探索装置アンケート結果 (図5 参照)

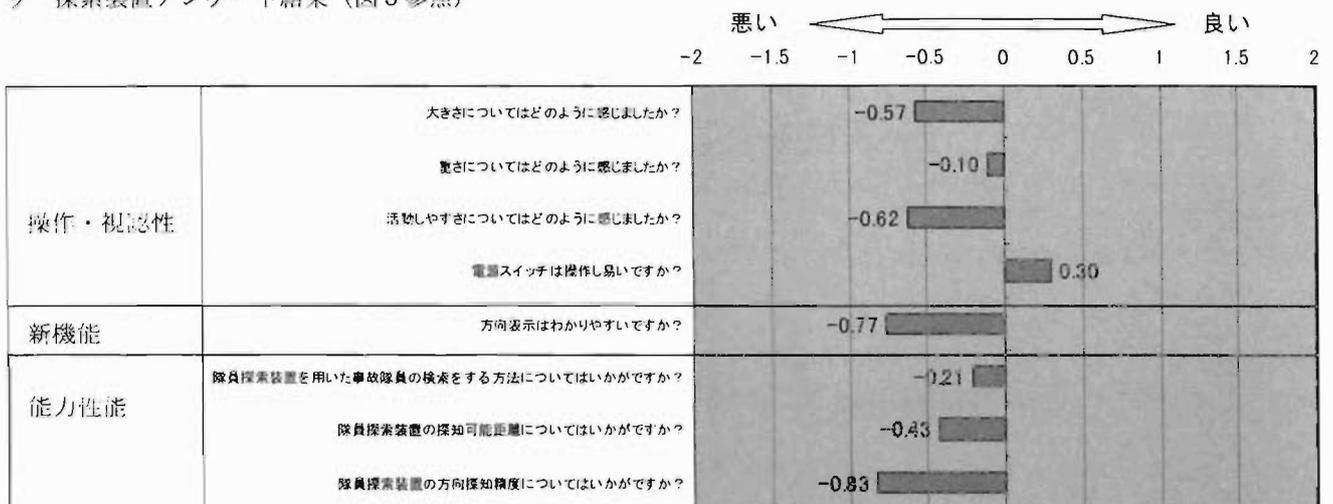


図5 探索装置アンケート結果

① 操作・視認性について

ほとんどの項目について、マイナス評価となり、特に「大きさ」「活動しやすさ」及び「方向表示のわかりやすさ」については顕著である。また、自由記述の中で小型化を望む意見が多く見られた。

② 新機能について

救難信号到来方向を探知するというシステムについては、全体としてマイナス評価となった。主に「耐火区画内での反射波に起因する精度の悪さ」「立体的に探知できない」とする評価が主な理由であった。しかし一方、「画期的であり実際の現場で使いたい」「区画などの無い倉庫等に非常に有効」「山岳活動などに応用できそうである」といったプラスの評価も見られた。

③ 能力性能について

「探知可能距離」「方向精度」とともにマイナス評価となった。理由として「ドアが閉まっていると反応が悪い」「上下階で違う方向を示した」「反射などで方向が定まらない」といった、耐火構造の建物内部での特性を挙げる意見が多く見られた。

4 性能検証

性能検証として、過酷な災害現場での使用を想定した耐久試験及び電波による通信性能試験を実施した。(本稿では実施した実験の一部について述べる。)

(1) 耐久試験

ア 落下試験

① 試験方法

コンクリート床面上へ連続して自由落下させ、外観及び機能への障害の有無についての検証を行った。落下高さについては、1m、2m・・・と1m単位で高さを増加させ、落下試験が進むにつれより厳しい条件となるような方法とした。安全性に問題のある破損や故障が発生するまで落下を継続するものとし、微細な破損については以後も落下を継続させた。実験場所の制約から、6mを超える高さの固定ができないため、それ以降は6mの試験を繰り返す方式とした。

② 結果

表8のとおり。

③ 考察

今回の落下試験において破損したのは、圧電サウンダカバーと電源キースイッチ保持用の鉄板の脱落みであった。圧電サウンダカバーの脱落によって音が小さくなるという状況が見られたものの、それ以外の動作は全て正常であった。このことから、脱落したこれら2種類の部品の固定方法について改良は必要なものの、基本的な構造にはほぼ満足できる耐久性能を有していると思われる。

表8 落下試験結果

落下回数	落下高さ	状況
1回目	1m	異常なし。
2回目	2m	異常なし。
3回目	3m	異常なし。
4回目	4m	電源キースイッチ保持用の鉄板のはがれ。他に異常が無いため落下試験を継続。
5回目	5m	他に異常なし。
6回目	6m	他に異常なし。
7回目	6m	音が若干小さくなった。(圧電サウンダカバーに微小なズレまたは歪みが生じたと考えられるが、目視では確認できない。)
8回目	6m	圧電サウンダカバーが完全に外れた。このため、音響が著しく小さくなったため試験を終了した。尚、他の機能については正常動作を確認した。

イ 耐熱試験

① 試験方法

試験体を電気炉に入れ、1分間に約5℃ずつ上昇させ、温度上昇に伴い警報機能に与える影響を検証した。試験体は「本警報」が発報した状態とし、救難信号の送信状況、LEDの点滅状況及び音響の鳴動状況について観察を行うこととした。実験開始温度は50℃とした。実験に用いた電気炉の都合から、炉の最高温度である200℃に近づくにつれ、温度上昇率は若干低下している。

② 結果

表9のとおり。

表9 耐熱試験結果

変化の観測された時間	電気炉内温度	状況
21分後	141℃	音響が若干小さくなったと感じられた。(炉内部のため音圧計測不能)
26分後	156℃	ラベル(東京消防庁名)が剥がれはじめる。
30分後	164℃	圧電サウンダカバー及びボディに変形がはじまる。
34分後	170℃	救難信号が途切れがちになる。
35分後	172℃	救難信号止まる。
36分後	173℃	著しく変形しだす。
38分後	175℃	警報音止まる。
41分後	180℃	LED点滅の挙動が不連続不明瞭となる。(実験終了)

③ 考察

高機能警報器は約 160℃付近の温度領域まではほぼ正常に動作することが確認できた。実験結果で見られた変形以外の異常は、周囲温度の上昇が電子回路に影響を及ぼしたためと考えられる。

なお、実験終了後、高機能警報器を入れたまま電気炉を室温まで冷却したところ、LED、音、救難信号の順で、正常な動作を再び開始した。しかし、筐体の歪みが激しく、電源スイッチ操作等は不能であった。

(2) 通信性能試験

① 試験方法

高機能警報器から発信される救難信号を、他の高機能警報器及び探索装置で受信可能な距離とその受信状況について検証を行った。検証は、障害物の無い屋外、耐火建物内及び木造建物内外における特性について調査した。

(表 10・図 6)

② 結果・考察

表 10 のとおり。

表 10 通信性能試験結果

状況	警報器⇄警報器間	警報器⇄探索装置間
屋外	90m到達を確認。	450m到達を確認。
耐火造建物	<ul style="list-style-type: none"> ・見通せる状況では、数十m離れていても受信可能。壁体など障害物のある状況では概ね十数mまで受信可能であった。 ・壁体や、防火戸は通過しない場合がある。 ・通路を曲がるなど直接見通せない状態になると、受信可能距離が短くなる。 ・違う階層でも受信可能の場合もある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁体を通過した信号を表示する場合と、通路や窓などからの信号を表示する場合がある。 ・ガラスや金属製の防火戸、エレベータホール、複雑な構造の構造物などの近くでは、反射波の影響を受けやすく、不正確な方向を示す場合がある。(1点に停止せず動き回って探索する方がより正確である。) ・上下方向の探知は、天井と床が平らの場合有効。
木造建物	建物内及び周囲5mの場所で受信可能。	<ul style="list-style-type: none"> ・建物内外全てにおいて正確に指し示す。 ・内容物のガラス・影響を受ける場合もある。

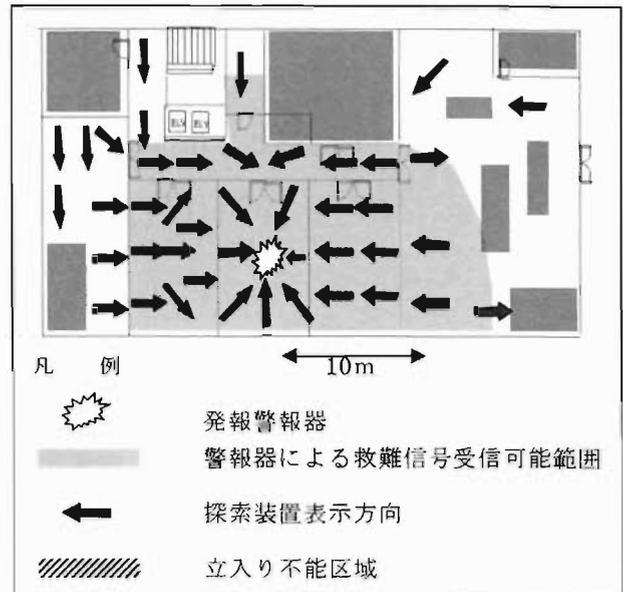


図 6 耐火造建物における試験結果の一例

5 まとめ

高機能警報器は、試験配置結果からいくつかの改善すべき点は抽出されたものの概ね良好な結果が得られた。性能検証については、本稿に挙げたものの他に圧縮試験・水没試験及び電源耐久試験等を実施したが、いずれも十分実用に耐えうるものであることが確認できた。これらのことから、実戦においても安全管理上更なる効果の向上が期待できるものと思われる。

探索装置については、試験配置結果からは全体的に悪い評価であった。これは、性能検証でも見られた反射波による方向表示精度に起因するものや、防火戸や耐火建物の壁の透過性能等に起因するものであった。しかしその一方、大空間や屋外の活動について有効であるとの評価も得られた。性能検証からは、反射波の影響を受けやすい条件や、救難信号を透過しない可能性のある条件などについての特性を得ることが出来た。条件によりバラツキや差異はあるものの、これらの特性を理解した上で使用することにより、現用機（音のみ）に比べ、その位置特定にかかる時間をより短縮できる可能性が期待できるものと思われる。

[参考文献]

- 1) 消防科学研究所報 第 39 号
- 2) 工業調査会 センサ/計測モジュール活用技術百科平成 8 年 6 月
- 3) 古樋知重・橋口正哉・大平孝・浅田孝夫・岡田敏美 “腕時計型マイクロ波ビーコンと携帯型電波到来方向探知機の雪中実験” 電子情報通信学会論文誌 VOL. J86-B No.2 2003 年 2 月

THE RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR A HIGH-PERFORMANCE "PASS"

Shuhei ARIYAMA*, Nobuo YOSHIMURA*, Kenji KAMAGATA*,
Teruyuki OTAKE**

Abstract

For the extra safety of on-scene fire fighters, we manufactured a high-performance "PASS"(personal alert safety system).

Characteristics

1. Unnecessary alarm sounds can be prevented.
 2. Rescue signals by electric waves with alarm sounds can be received and transmitted.
- Moreover, we produced a fire fighter's location detector capable of indicating which direction electric wave rescue signals come from.

Both systems are designed for the greater safety and the earlier detection of endangered emergency responders.

We ran a series of tests on devices and their validity was verified.

* First Laboratory ** Special Incidents Section