

## 隊員安全管理システムの研究開発 (第3報)

野村 敏幸\*, 稲村 武敏\*, 鈴木 幸之\*

### 概要

消防活動中の隊員の安全確保を支援するシステムについて、試作機を用いて各種実験を行い、その結果を整理、分析した。

- 1 隊員の活動区域に中継機を置き、監視装置まで中継機を追加配置して中継する方法が効果的である。
- 2 隊長用と隊員用の端末機だけの構成で運用が可能である。
- 3 繁華街、幹線道路沿いは地域ノイズが多く、中継機の配置間隔を狭める必要がある。
- 4 端末機の送信出力は、少なくとも1W必要である。
- 5 静止センサーのみで緊急事態の検出を行うのは、信頼性に欠ける。

### 1 はじめに

都市構造の大規模化や多様化等が進む中で、消防活動現場における事故発生の潜在的危険性が増加している。こうした活動現場においては、消防隊員の安全管理は指揮者を中心とした組織活動による人的努力で行われている。しかし、しばしば発生する隊員の受傷事故に対し、隊員の緊急事態を自動的に各級指揮者が把握でき、いち早く救出活動を可能とする消防活動支援システムの開発が求められた。そこで、隊員の安全確保を支援することを目的として、本システムの研究開発を推進してきた。

平成8年度は基本的な試作機の製作、平成9年度は改良型試作機の製作を行い、平成10年度は改良型試作機に関して無線局(東消共通波 151.75MHz、1Wを使用する実験局)の免許を取得し、各種防火対象物において通信実験等を実施した。

第1報<sup>1)</sup>及び第2報<sup>2)</sup>において、本システムの開発に関する基本構想、システムの構築等の検討、及び、その検討に基づいて製作した試作機について紹介したが、本報は、本システムの開発目的を達成するために、試作機を用い、種々の形態の火災想定における運用実験を行い、その結果を整理、分析したものである。

### 2 システムの概要

\* 第一研究室

システム機器は、監視装置、端末機(隊長用及び隊員用)、中継機、登録機(登録操作ユニット、無線送信ユニット)、進入管理盤等からなり、大規模火災等における消防活動の特徴である、平面的、立体的あるいはその組み合わせられたある範囲内で多数の隊員が活動する現場において無線によるデータ通信ネットワークを構成する。隊員が携帯する端末機の静止センサーが、隊員の静止状態を判別して自動的にネットワークを通じて現場指揮本部の監視装置へ緊急信号を発し、監視装置に当該隊員の氏名等が表示される等により、活動中の隊員の安全を集中管理するものである。

### 3 実験場所及び実験種別

試作機を用いて通信実験、端末機着調調査等を実施した。実施日、実施場所及び実施種別は表1のとおりである。

### 4 実験の内容及び結果

前3の実験種別ごとの実施内容及び結果については次のとおりである。

#### (1) 端末機性能確認実験(実験番号1及び5)

ア 実験目的

隊員用端末機からの緊急信号を隊長用端末機へ着信さ

表1 実験実施日、実施場所、実験種別

実験番号	実施日	実施場所	実施項目
1	平成10年8月11日	屋外階段及び地上の直線部「第1回」	端末機性能確認実験
2	平成10年8月19～20日	東京消防庁訓練施設	端末機着装調査
3	平成10年10月12日	超高層ビル「第1回」	通信実験
4	平成10年10月12日	地下街「第1回」	通信実験
5	平成10年10月19日	1に同じ「第2回」	端末機性能確認実験
6	平成10年11月11日	住宅地	通信実験
7	平成10年11月19日	河川敷	通信実験
8	平成10年11月26日	3に同じ「第2回」	通信実験
9	平成10年12月8日	4に同じ「第2回」	通信実験
10	平成11年1月22日	地下洞道	通信実験
11	平成11年2月3日	大規模倉庫	通信実験
12	平成11年2月26日	共同研究企業社屋	無線受信部性能確認
13	平成11年3月29日	4に同じ「第3回」	通信実験

せる場合の、着信の確実性と端末機相互間の距離の関係を把握する。また、端末機の内部で発生するノイズ（以下「内部ノイズ」という。）が受信性能に影響したことから内部ノイズ発生個所にシールドを施し、その改良（以下「シールド対策」という。）の効果を確認する。

イ 実験場所の状況

地上の直線部は、当庁訓練施設内の構内道路等である。

屋外階段の実験を実施した建物は、屋外階段を含め鉄筋コンクリート造の地下1階、地上6階建てである。

ウ 実験項目

垂直方向、水平方向での隊長用と隊員用端末機相互間の通信状況の確認

エ 実験方法

屋外階段においては、隊長用端末機を階段最下部（地下1階ドライエリア）または屋外の地上（屋外階段から水平距離約10mの位置）に配置し、隊員用端末機を1階から6階まで移動して緊急信号を送信し、隊長用端末機への着信状況を確認した。隊長用端末機と隊員用端末機の位置関係を交換した場合についても実施した。

また、地上の直線部においては、地上で隊長用端末機を固定配置し、隊員用端末機を隊長用端末機から徐々に離しながら緊急信号を送信し、隊長用端末機への着信状況を確認した。

オ 実験結果

表2 シールド対策の効果（抜粋）

端末機の位置		着信結果 (着信○、非着信×)	
隊員用	隊長用	シールド 対策無し	シールド 対策有り
6階	地下1 階ドラ イエリ ア	×	○
5階		×	○
4階		×	○
3階		×	○
2階		○	○
1階		○	○

実験番号1では、屋外階段において通信の確実性が高かったのは最下階（地下1階ドライエリア）または地上から2～3階層離れた位置までであったが、実験番号5では、端末機内部にシールド対策を施した場合は最下階（地下1階ドライエリア）または地上から最上階（6階）まで確実性の高い通信が可能であった。（表2）また、地上の直線部の実験でも、シールド対策の効果が確認された。

(2) 端末機着装調査（実験番号2）

ア 調査目的

端末機に関する改善点の抽出と、システム全体の動作確認

イ 調査場所（訓練施設）の状況

使用した施設は、第三消防方面訓練場の訓練塔で、鉄骨鉄筋コンクリート造地上8階地下2階、延べ面積2,993 m<sup>2</sup>の建物である。消防隊の訓練想定内容は、地上1階から4階までを使用して「4階建の事務所ビル2階から出火し、3階に逃げ遅れがいる模様」である。

ウ 調査項目

端末機の着装性、操作性

エ 調査方法

消防活動訓練を実施する消防隊員に端末機を着装させ、端末機に関して、形態、警報音、操作性等の項目について訓練終了後にアンケート調査を実施した。また、訓練中にシステム全体を稼働させ、端末機から監視装置への緊急信号の着信状況等を確認した。

オ 調査結果

(7) 端末機が「大きい」「重い」という回答が過半数を占めた。

(4) 操作スイッチのON、OFFの位置がわかりにくく、訓練中、つまみが勝手に回ってしまうという回答があった。

(9) 訓練中でも、身体の動きが緩やかな状態では不要発報が発生した。

(3) 超高層ビル火災想定での通信実験（実験番号3及び8）

ア 実験目的

電波伝搬特性及び通信の確実性を把握する。また、システムのネットワークを確立する上で、監視装置や中継機の配置場所等、効果的な配置方法に関するデータを収集する。

イ 実験場所の状況

鉄骨鉄筋コンクリート造地上 54 階地下 4 階建て、延べ面積 242,014 m<sup>2</sup>の複合用途建築物で、建物の四隅には非常用エレベーターロビー及び特別避難階段が設置されている。

ウ 実験項目

- (7) 建物内の端末機から送信した場合、屋外または屋内の監視装置へ直接着信する範囲の調査
- (イ) 火災想定階及びその上下階の端末機から送信した場合の、中継機が中継できる範囲の調査

(建物断面図)

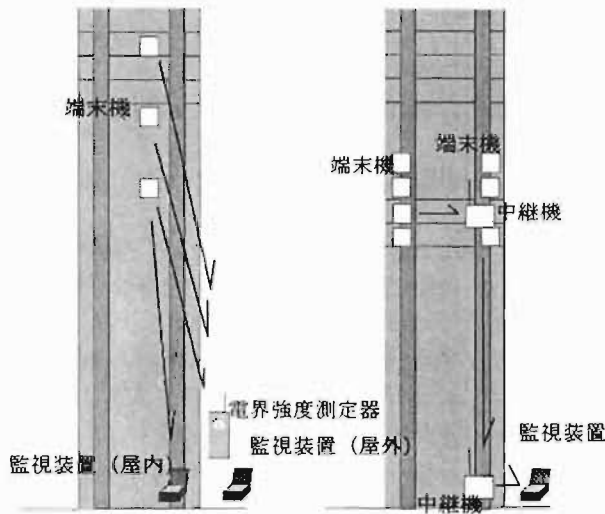


図1 実験方法概要図  
(着信調査及び電界強度測定)

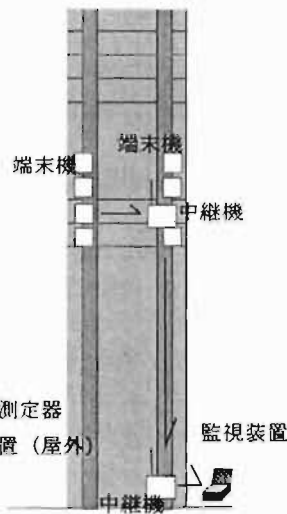


図2 実験方法概要図  
(着信調査)

- (ウ) 建物内部及び周囲での監視装置と中継機のネットワークが構成できる範囲の調査（実験番号8のみ）
- (エ) 端末機から送信された電波の電界強度測定
- (オ) 本システムが使用する電波の周波数における自動車、電車、電子機器等から発せられる電氣的雑音（以下「地域ノイズ」という。）及び同一もしくは隣接周波数における他の無線交信の電波（以下「妨害波」という。）の電界強度測定

注) (7)～(オ)の内容は「エ 実験方法」及び「オ 実験結果」における同符号の内容と、各々対応している。以下(4)～(8)の中においても同様である。

エ 実験方法

(7) 各階において順次端末機から送信し、建築物直近の屋外または1階非常用エレベーター前に設置した監視装置での着信状況を把握した。(図1)

(イ) 建築物直近の屋外に監視装置、避難階及び火災想定階に中継機、火災想定階の上下数階層に端末機を配置し、端末機から送信して中継機を経由し監視装置に着信する状況を把握した。(図2)

(ウ) 建築物直近の屋外に監視装置、建物背面側の屋外に中継機を配置し、ネットワークの構成状況を把握した。(図3)

(エ) 監視装置の位置において、端末機からの電波の電界強度をスペクトラムアナライザ（アンリツ株式会社製MS2602A、以下同じ）を用いて測定した。(図1)

(オ) 監視装置の位置において地域ノイズ及

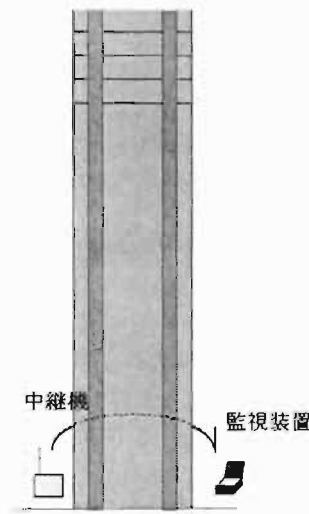


図3 実験方法概要図  
(ネットワーク構成の調査)

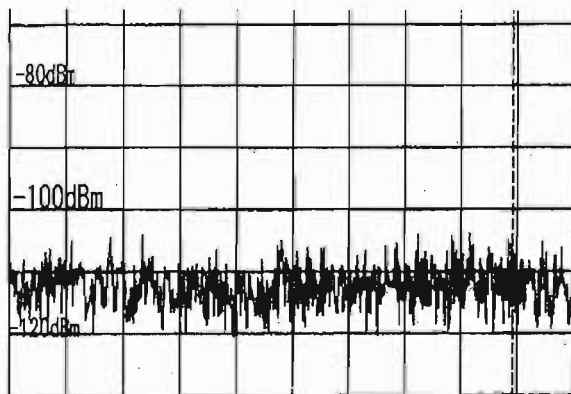


図4-1 地域ノイズ  
(超高層ビルのある繁華街 11:07 頃 10 秒間測定)

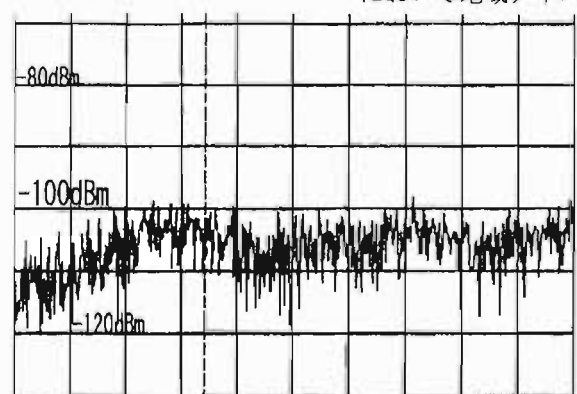


図4-2 地域ノイズが増加した例  
(同場所において 15:05 頃 10 秒間測定)

び妨害波の電界強度をスペクトラムアナライザ及び電界強度測定器（アンリツ株式会社製 ML518A、MH649A、以下同じ）を用いて測定した。

#### オ 実験結果

- (7) 監視装置を屋外に設置した場合、各階に配置した端末機のうち、監視装置設置場所に面する外壁側の端末機は最上階（54 階）のものまで着信し、監視装置からみて建物の背面側の端末機は着信しなかった。
- (イ) 中継機を配置した階とは異なる階において端末機から緊急信号を送信した場合、中継されないことが多かった。
- (ウ) 建物を挟んで監視装置と中継機のネットワークが構成され、建物の背面側の屋外に中継機を配置することにより、背面側の端末機をカバーできた。
- (エ) 着信したものの中で最も低い値は-100dBm であった。
- (オ) 地域ノイズは-104dBm（最大値、図4-1）で、時間帯により-97dBm（最大値、図4-2）まで上昇した。また、断続的な-80dBm（最大値、図5）の同一周波数妨害波を検出した。

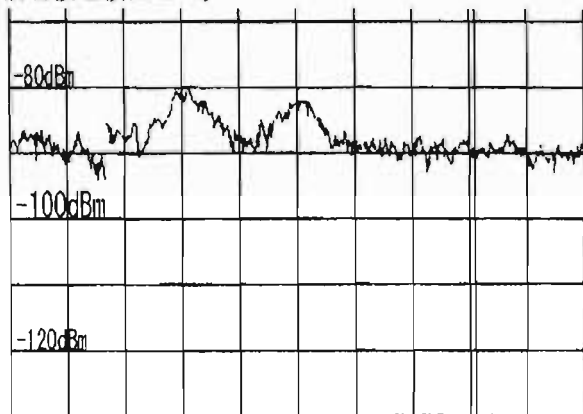


図5 妨害波（14:20 頃 10 秒間測定）

#### (4) 地下街火災想定での通信実験（実験番号4、9及び13）

##### ア 実験目的

前(3)アに同じ。

##### イ 実験場所の状況

延べ 34,700 m<sup>2</sup>の地下街

実験では地下街全域、地上から地下街（地下1階）へ入る階段、地下街から地下2階の駐車場へ通じる階段を使用した。

##### ウ 実験項目

- (7) 地下街各場所で端末機から送信した場合の、地下街内に設置した監視装置へ直接着信する範囲の調査
- (イ) 中継機による通信範囲拡大効果の調査
- (ウ) 建物内部及び周囲での監視装置と中継機のネットワークが構成できる範囲の調査
- (エ) 端末機から送信された電波の電界強度測定
- (オ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度測定

#### エ 実験方法

- (7) 地下街の通路の各位置において順次端末機から送信し、地下街端部の広場に設置した監視装置での着信状況を把握した。
- (イ) 前(7)の設定で、中継機を配置し中継効果を確認した。
- (ウ) 監視装置と中継機で、地下街と地上とのネットワーク構成状況を確認した。
- (エ) 監視装置の位置において、端末機からの電波の電界強度をスペクトラムアナライザ及び電界強度測定器を用いて測定した。
- (オ) 施設内外の地域ノイズ及び妨害波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

#### オ 実験結果

- (7) 監視装置から見通せる位置の端末機については約200m、見通せない位置の端末機は約50mの通信可能範囲であり、屋外や地下洞道と比較して通信可能範囲が狭かった。（図6）

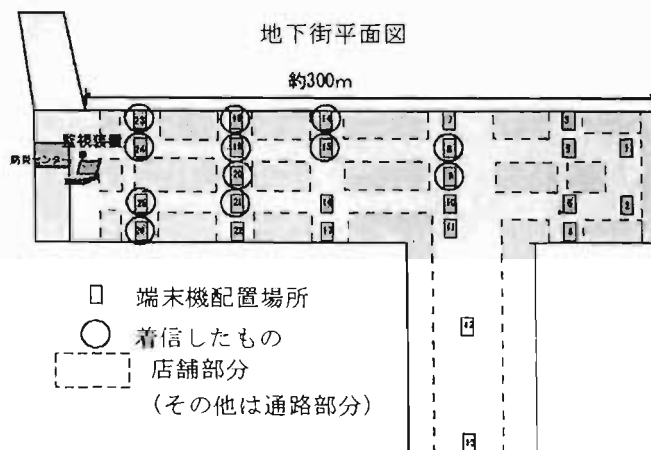


図6 地下街の実験結果（中継機を設置しない場合）

- (イ) 監視装置—第1中継機—第2中継機という直列のネットワークを構成した場合、ネットワークの切断（通信が不可能になること）と再構成を繰り返す現象が見られた。この原因については、監視装置の仕様として監視装置がより強く受信する中継機の方を第1中継機として選択するため、雑踏（人の通行）、壁体の反射等で電波の受信強度が変化した場合、別の中継機を第1中継機として選択してネットワークを再構成することが推定される。
- (ウ) 地上と地下街でネットワークを構成させるには、地上から地下街へ下りる階段の途中に中継機を配置する必要があった。また、階段の鋼製防火戸が閉鎖されていても、防火戸の直近に中継機を配置することにより、階段経由で上下階のネットワークが構成できた。
- (エ) 着信したものの中で最も低い値は-103dBm であった。
- (オ) 地域ノイズは、10 時頃及び 16 時頃の測定では-100dBm 前後であったが変動が大きかった。なお、実験

番号 13 において、朝 (6:40am) は -117dBm と低かった。  
 妨害波については、同一周波数 (151.75MHz) 及び隣接周波数等で、断続的な電波を検出し、その強度は -90dBm 前後であった。

度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

オ 実験結果

(7) 地上の監視装置と縦坑最下部 (横坑入り口) の中継機は、縦坑の途中に中継機を追加配置することにより

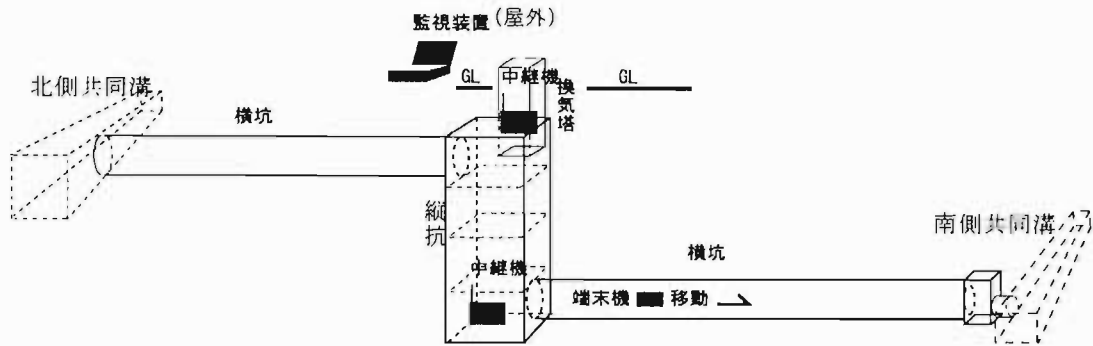


図 7 地下洞道見取り図

(5) 地下洞道火災想定での通信実験 (実験番号 10)

ア 実験目的

前(3)アに同じ。

イ 実験場所の状況

送電用地下洞道、全長は 687m で、縦坑 (深さ 25m) により地上と横坑が接続されている。(図 7)

実験は、縦坑とそこから南側の共同溝へ通じる約 400m の横坑を使用した。この部分の地表面からの深さは最大 25m 最小 12m である。横坑内径は 2.7m で、左右上下屈曲した経路で全体を見通すことは出来ない。この部分には電力送電用として 6KV から 66KV までの 25 線路が通っている。

ウ 実験項目

(7) 縦坑内の中継機と地上の監視装置とのネットワーク構成方法の調査

(4) 横坑内の通信可能距離の調査

(7) 端末機から送信された電波の電界強度測定

(エ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度測定

エ 実験方法

(7) 地上に設置した監視装置と、地上から洞道へ通じる縦坑内の中継機とが確実なネットワークを構成出来るような中継機の配置場所を検証した。

(4) 洞道内で中継機から端末機を徐々に離して送信し、中継機を経由して監視装置へ着信する状況を把握した。

(7) 監視装置の位置及び横坑入り口において、端末機からの電波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

(エ) 洞道内において、地域ノイズ及び妨害波の電界強

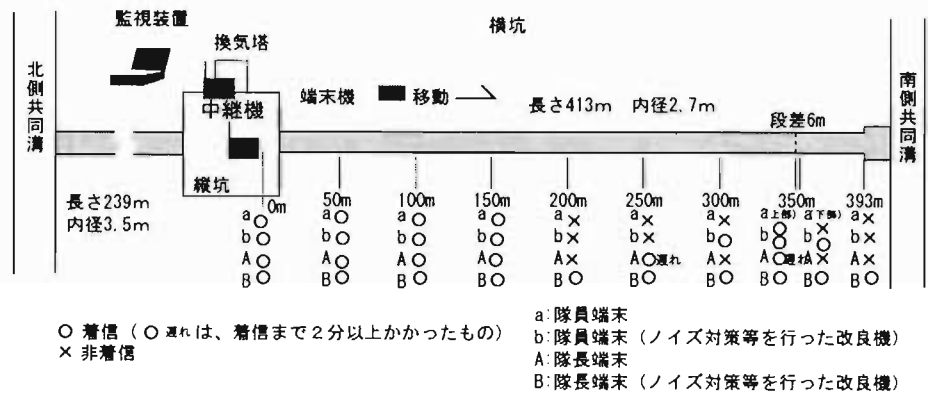


図 8 地下洞道実験結果 (平面図)

ネットワークが構成できた。

(4) 横坑内は、端末機から中継機までの通信可能距離が約 400m であった。また、横坑内において、端末機から中継機までの距離が 200m 付近で、通信の確実性が低下する場所があった (図 8)。原因としては、直接波と壁体反射波の干渉<sup>3)</sup>などが考えられる。

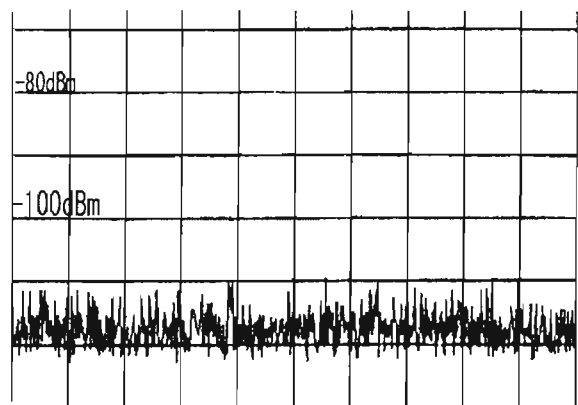


図 9 地下洞道 (横坑) における地域ノイズ (10:40 頃 10 秒間測定)

(ウ) 中継機と横坑内の端末機の距離が200mの場合は-83dBm(3回測定の平均値)、また、着信したもののうち、最も低い値は-104dBmであった。

(エ) 洞道内は、地域ノイズ及び妨害波が極めて少なく、縦坑内は-115dBm、横坑内は-116dBm程度であった。(図9)

#### (6) 大規模倉庫火災想定での通信実験(実験番号11)

##### ア 実験目的

前(3)アに同じ。

##### イ 実験場所の状況

鉄筋コンクリート造地上4階、延べ64,800㎡のテナント式倉庫であり、幹線道路及び鉄道に面している。

建物内では、各テナントは縦割りに区画されており、境界は鉄筋コンクリートの壁で、隣接区画へ直接通じる通路、開口部はない。また、テナント毎に荷物用エレベーターが配置されている。

倉庫に保管されている物品は、缶詰、洋酒、紙類、電気製品等であり、フォークリフト用パレット上に積載された形態で床に置かれている。積み上げた高さは最大3m程度であるが、パレットにより異なっている。

##### ウ 実験項目

(7) 建物内の端末機から送信した場合の、屋外の監視装置へ直接着信する範囲の調査

(イ) 建物内の端末機から送信した場合の、隣接区画(隣接テナント)にある隊長用端末機への着信範囲の調査

(ウ) 建物内の端末機から送信した場合の、中継機を経由した着信状況の調査

(エ) 端末機から送信された電波の電界強度測定

(オ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度測定

##### エ 実験方法

(7) 倉庫内各階の端末機から送信し、屋外の監視装置へ着信する状況を把握した。

(イ) 倉庫内の各階において端末機から送信し、送信する端末機と同一の区画内(同一テナント)の2階及び隣接する区画内(隣接テナント)の2階に配置した隊長用端末機に着信する状況を把握した。

(ウ) 火災想定階に端末機及び中継機、火災想定階の階段出入口(階段側)に進入管理盤を配置し、端末機からの信号が進入管理盤へ、また中継機を経由して屋外の監視装置へ着信する状況を把握した。

(エ) 監視装置の位置及び隊長用端末機の位置において、端末機からの電波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

(オ) 建物内外において、地域ノイズ及び妨害波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

##### オ 実験結果

(7) 大規模倉庫では、監視装置に最も近いテナント(監視装置から当該テナントの外壁までの距離約20m)

の各階において、監視装置側の端末機は着信の確実性が高かった。

監視装置からみて建物の背面側壁体の近傍に配置した端末機は着信が不確実であった。

監視装置から最も離れたテナント(監視装置から当該テナントの外壁までの距離約130m)の各階に配置した端末機の信号は、監視装置へ着信しなかった。

(イ) 各階で隊員用端末機から送信した場合、同一区画に配置した隊長用端末機では2階層離れた位置まで、隣接した区画に配置した隊長用端末機では1階層離れた位置まで着信の確実性は高かった。

(ウ) 火災想定階に配置した端末機については、端末機の位置から進入管理盤及び中継機の位置が鉄筋コンクリートの間仕切壁等によって見通しが遮られている場合は着信が不確実であった。

(エ) 着信したもののうち、最も低い値は-96dBmであった。

(オ) 地域ノイズは-115dBmから-83dBmまで大きく変動を繰り返した。

#### (7) 住宅火災想定での通信実験(実験番号6)

##### ア 実験目的

前(3)アに同じ。

##### イ 実験場所の状況

渋谷区幡ヶ谷付近の旧玉川上水に沿った緑道

住宅地の中で、路線バスが走る道路と並行している。

##### ウ 実験項目

(7) システム各機器間の通信可能距離の調査

(イ) 端末機から送信された電波の電界強度測定

(ウ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度測定

##### エ 実験方法

(7) 緑道に沿って、監視装置を定点としてそこから端末機及び中継機を離して行き、着信状況の変化を把握した。

(イ) 監視装置の位置において、端末機からの電波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

(ウ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度をスペクトラムアナライザを用いて測定した。

##### オ 実験結果

(7) 監視装置と端末機の通信可能距離は300m、監視装置と中継機の通信可能距離は400m(この地点で実験打ち切り)であった。

なお、道路を走行する車両から発せられるイグニションノイズの影響を大きく受けた。

(イ) 着信したもののうち、最も低い値は-98dBmであった。

(ウ) 地域ノイズは、-102dBm程度であった。自動車のイグニションノイズと思われるノイズを頻繁に検出し、その最大値は-87dBmであった。(図10)

(8) 屋外の平坦地において電波伝搬の基礎データ及び機器の基本性能を把握する通信実験(実験番号7)

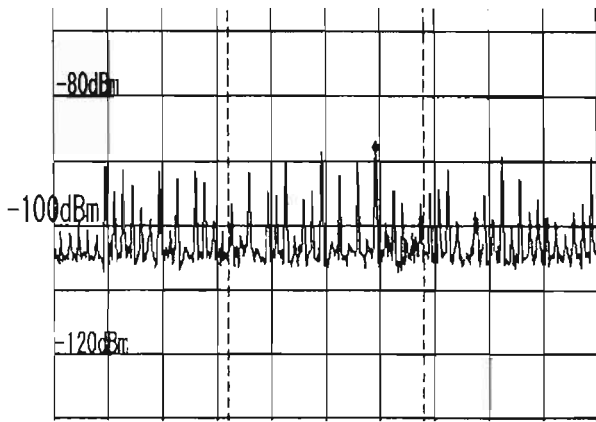


図 10 自動車のイグニッションノイズ  
(15:10 頃 10 秒間測定)

ア 実験目的

見通しが良く、電波の反射、干渉が少ない屋外において本システム機器に関する基本性能を把握する。

イ 実験場所の状況

調布市付近の多摩川の河川敷

実験は、河川に並行するサイクリングロードに沿って実施した。

ウ 実験項目

- (ア) システム各機器間の通信可能距離の調査
- (イ) 端末機から送信された電波の電界強度測定
- (ウ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度測定

エ 実験方法

(ア) 河川敷のサイクリング用道路に沿って監視装置を定点としてそこから端末機及び中継機を離して行き、着信状況の変化を把握した。

(イ) 監視装置の位置において、端末機からの電波の電界強度を測定した。

(ウ) 地域ノイズ及び妨害波の電界強度を測定した。

オ 実験結果

(ア) 監視装置と端末機の通信可能距離は 850m、監視装置と中継機の通信可能距離は 1000m (この地点で実験打ち切り)であった。

(イ) 監視装置と端末機の距離が 200m の場合は-79dBm (3 回測定の平均値)、また、着信したもののうち、最も低い値は-102dBmであった。

(ウ) 地域ノイズは-113dBm 前後であったが、時間帯によって 10dB 程度上昇することがあった。

(9) 無線受信部性能確認

ア 実施目的

各通信実験の結果評価に際し、同一周波数の妨害波が混入した場合の受信したい電波 (希望波) の識別度 (希望波を認識する能力)、及び、システム各機器受信部において隣接周波数 (希望波の周波数±25kHz) 妨害波に対する選択度 (希望波のみを選択する能力)を確認した。

イ 実施方法

同一周波数の妨害波が混入した場合の希望波の識別度については、希望波と妨害波の強さを変化させながら希望波と妨害波を混合してシステム機器の受信部に注入し、受信する確率が 80%となる場合における希望波と妨害波の強さの差をスペクトラムアナライザを用いて計測した。

隣接周波数妨害波に対する選択度の確認については、希望波と妨害波の強さを変化させながら希望波と隣接する周波数妨害波を混合してシステム機器の受信部に注入し、同様の方法にて計測した。

ウ 実施結果

同一周波数妨害波が混入した場合の、希望波の識別度は-6.3dB、隣接周波数の妨害波に対する選択度は 56dB の計測値が得られた。

5 考察

(1) 端末機の送受信性能

全実験を通じて、端末機-監視装置間の通信は、中継機-監視装置間の通信よりも通信可能距離等の点で劣っている傾向が見られ、送受信性能が本システムの他の機器に比較して良くなかった。原因は、内部ノイズとアンテナの極端な短縮によるものである。

アンテナについて見ると、システムが使用している電波の周波数 (151.75MHz) における単一型アンテナの基本的な長さ L は、

$$L = \lambda / 4 \times \text{短縮率} \quad \text{であることから約 47cm となる。}$$

L : アンテナ長

$\lambda$  : 波長 (光の速度/周波数)

短縮率: 導体中を伝播する電波の速さが空間伝播より遅いために波長が短くなる率 (一般的に 0.98~0.95 の値となる)。

端末機のアンテナは全長 9cm、監視装置や中継機のアンテナは全長 25cm であり、回路上の工夫をしてそれぞれの長さに短縮している。アンテナは短縮することにより、損失電力が増加して効率が低下する<sup>3)</sup>。損失電力が生じる要因としては、アンテナ短縮のためのコイルやインピーダンス整合回路の熱損失があげられる。アンテナ短縮に伴う効率低下は、送信時に限らず受信時にも発生する。

端末機のアンテナは、着装時の消防隊員の活動性を考慮して本来 47cm 必要であるアンテナ全長を 9cm にまで短縮してあり、これが端末機の送受信性能が監視装置及び中継機に比較して劣っている大きな原因と考えられる。

(2) 地下街における電波伝搬特性

電界強度測定において、端末機から測定器までの距離 (以下「伝搬距離」という。) が約 200m の場合、地下街では-103dBm、地下洞道では-83dBm、河川敷では-79dBm の値であり、これらを比較すると地下街は非常に低い値である。

建築物内及び地下施設内での電波伝搬特性 (電波の伝

搬損失)は、建築物等の形態によって多種多様に変化し、これらの要素を包括して解析する手法がない。そこで、これらの値を屋外の電波伝搬特性の推定法(\*)による計算値(以下「計算値」という。)と比較すると次のようになる。

計算値は、同一伝搬距離の場合-76.5dBmとなる。

ア 準平坦地(地表高に20m以上の差がない平坦な地形をいう。)に該当する河川敷での測定値は-79dBm(電圧比で、計算値の約1/1.3)で、前(1)のアンテナ効率の低下も勘案すると計算値に近似した結果が得られている。

イ 地下洞道では-83dBm(電圧比で、計算値の約1/2.1)の値であり、屋外より伝搬損失は僅かに大きい。

ウ 前イに対し、同じ地下施設であっても地下街は-103dBm(電圧比で、計算値の約1/21.1)であり、屋外や地下洞道に比較して電波伝搬に伴う減衰が極めて大きい。

\* 屋外における電波の伝搬特性の推定については、準平坦地における電波の伝搬損失  $L_p$ (dB)を求めるために、次の近似式が使われており、秦の式<sup>5)</sup>と呼ばれている。

$$L_p(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \cdot \log(fc) - 13.82 \cdot \log(hb) - \{1.1 \cdot \log(fc) - 0.7\} \cdot hm + \{1.56 \cdot \log(fc) - 0.8\} + \{44.9 - 6.55 \cdot \log(hb)\} \cdot \log(R)$$

fc:周波数 (MHz)  
hb:測定器アンテナ高 (30~200m)  
hm:端末機アンテナ高 (1~10m)  
R:伝搬距離 (Km)

ここで条件として  $fc=151.75$  (MHz)、 $hb=30$  (m)、 $hm=1$  (m)、 $R=0.2$  (km)の場合には、

$$L_p(\text{dB}) = 82.5(\text{dB}) \text{ となる。}$$

また、秦の式では測定器アンテナ高の最小値が30mであるため、これを約1mまで下げた場合のアンテナ利得低下  $G_d$  を  $G_d \approx 24\text{dB}^{6)}$  とし、また、端末機の送信出力  $P$  が  $P=30\text{dBm}(=1\text{W})$  なので、電界強度  $S$  は、

$$S = P - L_p - G_d \text{ となり}$$

$$S = 30.0(\text{dBm}) - 82.5(\text{dB}) - 24.0(\text{dB}) = -76.5(\text{dBm}) \text{ の計算値となる。}$$

### (3) 端末機の寸法、重量

着装調査の結果から、試作の端末機は大きく、重いと見える。形態や重量に最も影響している電池に関しては、送信出力を下げることでより電池をもっと小型とすることが出来るが、ネットワークを維持する上で送信出力は現状の1Wを確保すべきである。

### (4) システム機器の配置方法

総括的には、隊員が活動する区域の直近に中継機を置き、監視装置までの間に中継機(複数)を増設して結ぶ方法が効果的であった。

実験を通じて把握した各種対象物における監視装置及び中継機の効果的な配置方法は次のとおりである。

#### ア 超高層ビル

(監視装置を屋外に設置する場合)

(7) 隊員が活動するフロア各階には、監視装置の設置場所に面する外壁側に中継機を配置し、各階の隊員からの信号を当該中継機で集約し監視装置へ伝送する。

(4) フロア各階で当該中継機から離れた場所にいる隊員の信号を確実に受信するために、監視装置から見て建物の背面側にあたる屋外に中継機を配置し、当該中継機から監視装置へ伝送する等、複数の通信経路を確保する。

(監視装置を屋内に設置する場合)

(7) 隊員が活動する各階及び監視装置を設置した階の非常用エレベータロビーまたは特別避難階段附室に中継機を配置し、堅穴区画(エレベーターシャフトまたは階段室)経由の通信経路を確保する。

(4) 前アの場合、堅穴区画直近の位置に中継機を設置することが効果的である。

(7) 廊下、通路の途中に鉄扉(防火戸)がある場合は鉄扉の直近に中継機を追加配置してネットワークを構成させる。

(エ) 建物の配置状況によっては、信号が隣接建物によって反射され、これを受信することも有効であることから、当該信号が確実に監視装置へ伝送できるよう屋外にも中継機を配置する。

#### イ 地下街

(7) 監視装置を地上に設置する。

(4) 地下街への階段の上下階に中継機を配置しネットワークを構成する。

(7) 地下街内においては、活動地点近傍に中継機を配置し、また、見通しが出来る場所であっても間隔100m以下ごとに中継機を配置する。

#### ウ 地下洞道

(7) 監視装置を地上に設置する。

(4) 監視装置から縦坑内の横坑入口に配置した中継機までネットワークが構成できるよう、中間に順次中継機を追加する。

(7) 屈曲が少ない横坑内においてはおよそ200mごとに中継機を配置する。

(エ) 隊員の進入時間を管理するために進入口付近に進入管理盤を配置する。

#### エ 大規模倉庫

(7) 監視装置を屋外に設置する。

(4) 建物出入口、階段の地上出入口に中継機を配置する。

(7) 隊員が活動する階の階段出入口に中継機を配置して、各階の隊員からの信号を中継機で集約し監視装置へ伝送する。

(エ) テナント形式の倉庫の場合には、隊員が活動する区画に隣接する区画内にも中継機を配置する。

### (5) ノイズ、妨害波の影響

道路の側や繁華街では地域ノイズが多く、また、その強度は時間帯で変化するため、十分な数の中継機でネッ



トワークを維持する必要がある。隣接周波数妨害波に対する措置は、実用周波数が決まってから具体的検討をすべき問題である。

#### ア 地域ノイズ

地域ノイズは繁華街等では多かったが、さらに時間帯で大きく変化し、各実験における最も低い測定値を基準にすると、繁華街では7dB（電圧比約2.2倍）、幹線道路沿いの大規模倉庫では32dB（電圧比約40倍）も上昇することがあった。このような場所においては、システムの運用時に中継機の配置間隔を狭めるなどの対応が求められる。住宅地においても、システム機器の直近を自動車が行き交うような環境では、自動車の影響がない場合の地域ノイズに比較して15dB（電圧比約5.6倍）強いイグニッションノイズが観測されたので、システムを運用する際には、道路の通行止め等も検討する必要がある。地下洞道ではノイズが極めて少なく、本システム運用上の障害は少ない。（図4-1、4-2、9及び10）

#### イ 妨害波

無線受信部性能確認で得られた値については、通信の可否の境界が「希望波より6.3dB弱い（電圧比約1/2）同一周波数妨害波」及び「希望波より56dB強い（電圧比約630倍）隣接周波数妨害波」ということであり、システム各機器が受信した妨害波のレベルがこの値を超えると通信が不能になる。

隣接周波数妨害波への対策については、本システムの実用周波数が決まった段階で、隣接周波数の状況を踏まえて、必要とされる性能のフィルターを設計する必要がある。また、同一周波数妨害波の混信に対しては除去する手段はない。（図5）

#### （6）システムの部分的な活用

隊長用と隊員用の端末機だけの構成で運用が可能である。

本システムは、基本的なネットワーク構成の運用のほか、消防活動の初期段階等において監視装置が起動していない場合の安全管理体制の確保を目的として、端末機からの緊急信号が隊長用端末機及び進入管理盤へ着信した場合に、警報音の鳴動と氏名等の確認が行える機能を持たせて製作した。従って、隊員用端末機と隊長用端末機のみ、または、これに進入管理盤を加えた簡易な構成で運用することも可能である。

## 6 課題

### （1）静止センサーについて

静止センサーのみで緊急事態の判定を行うのは信頼性に欠けるため、静止センサー以外の異常検出も同時に行って信頼性を確保するか、または、現用の無線機を併用し、緊急信号に対する確認を行う必要がある。特に、全隊員が無線機を所持すれば、さらに迅速な確認が可能となる。

### （2）端末機の小型軽量化について

実用化の段階で、端末機の小型軽量化は可能である。

電子回路の小型化、軽量化を行う方策として回路の集積度を上げ、多数の汎用ICの組合せで構成されていた回路を専用LSI（カスタムチップ）を含む少数のLSIの組合せに置き換える方法がある。特に端末機等電池駆動の機器はICやLSIの数が減ると駆動電力が低減し、同じ使用可能時間を確保していながら電池容量が小さくて済むことになる。従って回路基板の小型化、軽量化が電池の小型化、軽量化にもつながることになり、相乗効果として小型化、軽量化がさらに進むことになる。

### （3）形状、操作性について

#### ア 監視装置

実用化に際しては、コンピュータ基板及び周辺装置は防水性の高い筐体内に組み込み、キー、マウス、ディスプレイ等、操作に必要な部品のみを防水対策を施した上で、操作部へ取り付ける必要がある。

また、災害現場での使用を考慮し、ハードディスク等振動、衝撃に弱い部品に耐振処理を施す必要がある。

限られた送信電力の有効利用、周囲からの妨害波対策及び反射波による干渉低減のため、監視装置のアンテナを指向性のものとし、ネットワークの維持を堅固にすることが望ましい。

#### イ 端末機

端末機の操作スイッチは改良が必要である。また、隊長用端末機は、静止状態が続いて自ら発報した警報音であるか、他の端末機からの緊急信号を受信した警報音であるか聞き分けが困難な場合があり、警報内容ごとに警報音を明確に変える必要がある。

#### ウ 登録機

登録操作ユニットから車載の無線送信ユニットへデータ転送する方法は、試作機では有線方式としたが、車内の機器と車外の機器をデータ転送の都度ケーブルで接続する煩雑さ及びケーブルやコネクタ類の機械的、電氣的劣化を考慮すると赤外線や電波による非接触方式が望ましい。

#### エ 中継機

システムの運用終了時に回収しやすいよう、回収時に音響、光等を発する機能を付加する必要がある。

#### オ 進入管理盤

ディスプレイ画面を拡大、鮮明にする必要がある。

#### カ 磁気カード

非接触式カードの導入が望ましい。

### （4）システムに適する周波数について

400MHz以上3GHz以下の範囲で選択するのが現実的である。

アンテナは短縮することにより輻射効率や受信効率が低下するものであり<sup>4)</sup>、限られた送信電力で効率よく通信を行うためにはあまり短縮しないアンテナを使用することが望ましい。例として400MHzでは短縮しない場合のアンテナの長さは約18cmとなり、身体に装着しても

活動に支障が生じないアンテナの長さとしては、この程度が限界であろうと思われる。従って、本システムでは、効率の良いアンテナを使用するという点で 400MHz 以上の周波数の電波が望ましいと考えられる。

次に、建物内での見通しのきかない位置相互間の電波伝搬の場合は、電波の回折効果や反射効果による通信が主となる。回折効果は、10GHz 程度までは期待できるが、それ以上の高い周波数になると障害物の陰で電波が遮蔽される効果<sup>5)</sup>（シャドウイング効果）が顕著になるため 10GHz 以下の周波数が適している。さらに、建物内での電波の伝搬経路として、空調ダクトやエレベーターシャフトなど筒状構造物内の電波伝搬を活用する場合には、筒断面の寸法によって決まる遮断波長<sup>3)</sup>があり、この寸法は電波の 2 分の 1 の波長に等しく、400MHz の場合 37.5 cm となる。一般的な空調ダクトの寸法を勘案すると、それらのダクトを伝搬経路とした通信を期待する場合は 400MHz 以上の周波数を選定する必要がある。

以上、400MHz 以上 10GHz 以下という周波数の範囲を得たが、技術的な側面から見ると 3GHz 以上では高周波電力の伝送損失の点で同軸ケーブルのかわりに導波管が用いられるようになり、また、周波数が高くなるに伴って電波伝搬損失が増大するため、これを補うためにパラボラアンテナ等高い利得と強い指向性を持つアンテナが用いられる例が多く、これらは身体に装着する機器には不向きと考えられることから 400MHz 以上 3GHz 以下という周波数の範囲で選択することが現実的であると考えられる。

#### (5) 周波数割当てについて

本システム用の専用波が必要である。

本システムはデータ通信技術を活用して構成されている。データ通信は混信が瞬間的であってもデータの一部分が欠落することによってデータとしては意味をなさないものとなるため、本システムは専用波による運用が必須である。

また、受信機のアンテナに到達する電波の強さは、送信機の送信出力のみならず送信機から受信機までの距離に大きく依存する<sup>4)</sup>。災害現場では、本システム、消防無線、警察無線、電力会社、ガス会社、携帯電話のような移動体通信が集中し、他の無線通信機器と近接した場所での運用になる場合もあって、本システム側にとって受信したい電波（希望波）より他の無線電波（妨害波）の方が数千倍～数万倍も強い状態が発生し<sup>6)</sup>、本システムのネットワークを維持する上で大きな障害となる。対策としては、受信部に選択特性の良いフィルターを採用する等が考えられるが、根本的には本システムの運用時に隣接周波数で通信が行われるおそれが少ない周波数割当て、もしくは無線運用が望まれる。郵政省で周波数の有効利用を目的として予定している消防無線デジタル化への移行、及びそれに伴う周波数再割当ての時期を見込んで早い時期から、隣接周波数の運用状況も踏まえて、

本システム専用波を取得できるよう郵政省等へ働きかける必要がある。

#### (6) 通信の輻輳対策

試作機の監視装置は、出場隊からの隊員データを受信するネットワーク及び災害現場内で端末機及び中継機で構成されるネットワークを同時に制御しており、大規模災害の際に監視装置へ通信が集中し輻輳することが懸念される。このため、二つのネットワークを個別に制御できるように、通信制御システムを分割、整理することが望ましい。

### 7 研究開発の第二期計画

第一研究室では、平成 11 年度から平成 13 年度までの 3 ヶ年間で隊員安全管理システムの研究開発第二期として、これまでの第一期において開発したシステムの機能を拡張する研究開発を推進する計画である。

拡張する主な機能としては、次のものを予定している。

- ・ 空気呼吸器のボンベ残圧をデータ送信する機能
- ・ 隊員の血中酸素飽和度、脈拍数等の生体情報をデータ送信する機能
- ・ 隊員周囲の温度等の環境情報をデータ送信する機能
- ・ 隊員の位置情報をデータ送信する機能

隊員安全管理システムがこれらの機能を持つことによって本システムの信頼性が向上し、隊員の事故の未然防止及び事故が発生した場合における速やかな救援活動等の対応ができるようになり、さらに人的被害の軽減が可能になるものである。

### 8 その他

本研究は、警防部警防課、同救助課、装備部通信課と検討を行いながら、富士通電装株式会社との共同研究により開発したものである。

#### [参考文献]

- 1) 三好和人ほか 4 名：隊員安全管理システムの研究開発（第 1 報）、消防科学研究所報第 34 号、pp. 1～11、平成 9 年
- 2) 三好和人ほか 2 名：隊員安全管理システムの研究開発（第 2 報）、消防科学研究所報第 35 号、pp. 26～31、平成 10 年
- 3) 無線工学ハンドブック、無線工学ハンドブック編集委員会編
- 4) 角井洋司・吉村裕光：アンテナ・ハンドブック、CQ 出版社
- 5) 斉藤忠男・立川敬二：移動通信ハンドブック、オーム社
- 6) 移動通信、理論と設計、社団法人電子通信学会
- 7) 小園茂・田口朗：市街地の路上に置かれた低基地局アンテナ高による伝搬特性、電子情報通信学会論文誌 B-Ⅱ、Vol. J 72-B-Ⅱ、No. 1、1989 年 1 月
- 8) 佐藤定夫・樋口伊佐夫・森田和夫・武井博：都市内移動通信における UHF 帯平均電界強度の推定、電子情報通信学会論文誌 B-Ⅱ、Vol. J 72-B-Ⅱ、No. 4、1989 年 4 月

# STUDIES ON SAFETY SYSTEM FOR FIREFIGHTERS

(SERIES 3)

Toshiyuki NOMURA\*, Taketoshi INAMURA\*, Yukino SUZUKI\*

## Abstract

We made test model of safety management system, and did some experiments with it. Here we report the result and analysis.

- 1 There should be relay instruments between the base station at the command post and fire-fighting area for stable network.
- 2 Minimum network can be made only with leader's machine and other members' machine.
- 3 There are much electrical noise in the busiest area and along the principal road, and we need more relay instruments to build network.
- 4 The radio output must be more than 1 watt.
- 5 Bearing sensor is not quite enough to watch all emergent situation.

---

\*First Laboratory