

間欠受信による低消費電力の電池式無線連動型住宅用火災警報器

Low-Power Consumption Wireless Interlocking Residential Fire Alarm by Intermittent Reception

長田 雅裕* ・ 松本 一弘* ・ 藤井 隆* ・ 栗田 昌典* ・ 奥野 裕寿* ・ 大和 弘治*
 Masahiro Nagata Kazuhiro Matsumoto Takashi Fujii Masanori Kurita Hirohisa Okuno Koji Yamato

電池式無線連動型住宅用火災警報器において、非同期／同期切替型通信方式や耐干渉性受信待機方式などの開発によりリチウム電池2本で約10年の電池寿命を、超小型小電力無線モジュールの採用と音響部一体型半埋込式煙検知ブロックの開発により従来の電池式住宅用火災警報器と同等サイズを実現した。また、煙流入性に影響を及ぼさないアンテナ配置と屋内電波伝搬を考慮した回線設計により、戸建住宅において十分に電波が到達することをシミュレーションと実測の両面で確認している。

The newly developed battery-operated wireless interlocking residential fire alarms ensures approx. 10 years of continuous operation with 2 lithium batteries based on the asynchronous-synchronous switching communication method, anti-interference signal stand-by method combined with an ultra-compact low-power radio module and a unitized voice and smoke-detection block, all housed in an enclosure equivalent to a conventional battery-operated residential fire alarm. The antenna layout which does not affect the smoke flow pattern and the link budget by taking indoor radio propagation into consideration prove that there are sufficient signal transfers in residential installations both from simulation and actual measurements.

1. ま え が き

近年、住宅火災による死亡者数が増加の傾向にある（図1）。その原因の約6割が逃遅れであることから、早期に火災を知らせる住宅用火災警報器（以下、住警器と記す）が注目されている。2004年5月に消防法の改正が行われ、住警器の設置が義務づけられるようになった。新築住宅は2006年6月から設置が必要となり、既存住宅は市町村条例により2008～2011年の間に設置が必須となっている。

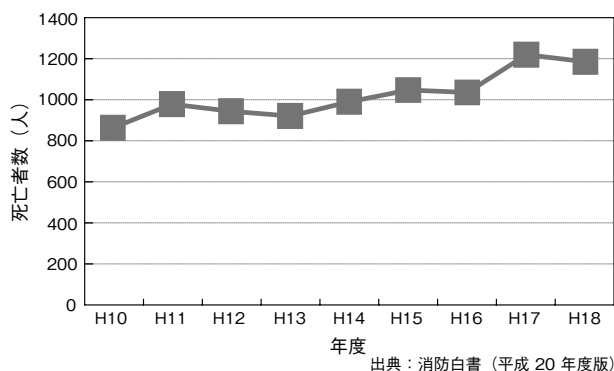


図1 住宅火災による死亡者数の推移

すでに当社は、住警器間を有線通信で接続していずれか1台が火災検知するとすべてが連動して鳴動することで、早く火災を知らせる「100V式有線連動型住宅用火災警報器」（以下、有線連動型住警器と記す）を発売している。しかし、従来の有線連動型住警器は各部屋の住警器を接続する配線工事が必要なため、事実上新築住宅が主たる対象になっていた。

そこで筆者らは、2008年から始まる既存住宅への設置義務化による住警器の本格普及に対応し、配線が不要で既存住宅にも設置が容易な、無線通信によって相互に連動して鳴動する「電池式ワイアレス連動型住宅用火災警報器」（以下、無線連動型住警器と記す）を開発した。本章では、無線連動型住警器に求められる性能と機能、および開発目標と技術課題の概要を述べる。

1.1 求められる性能と機能

(1) 電池寿命

住警器は、その存在が目立つことなく火災の際にのみ威力を発揮するべきものである。従来の単独型住警器の電池寿命は10年であり、無線連動型住警器にも同等の

* 情報機器事業本部 情報機器R&Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

電池寿命が求められる。

(2) 連動時間

住宅の1階で発生した火災の煙が2階に達するまでの時間は最短で1分程度であり、連動に要する時間（以下、連動時間と記す）はこれよりも短いことが必要である。また、従来の有線連動型住警器の連動時間は数秒であるが、電池寿命を考慮して無線連動型住警器では10秒程度の連動時間が求められる。

(3) 明瞭な火災警報音

従来の住警器における火災時の警報音は、電子ブザーによる「ピー、ピー」という鳴動音であった。しかし、近年多くの家電機器、電子機器等がブザー警報音を発するため区別しにくい。火災警報音に気づきやすくするためには、「火事です」と合成音声による警報音が求められる。

(4) 容易な施工

住警器は電気工事店による施工だけでなく、エンドユーザでも容易に施工ができることが求められる。無線連動型住警器においても、取付けにかかわる構造やサイズについては従来の単独型住警器を踏襲する必要がある。また、無線連動型住警器に固有の作業として親器と子器の間の登録操作がある。この操作を容易にするため、警報音声にくわえて登録操作のガイド音声が必要である。

(5) 通信エリア

一定規模以上の集合住宅には自動火災通報設備の設置が義務づけられているため、住警器は主に戸建住宅に設置される。無線連動型住警器の通信エリアは、戸建住宅として十分な広さの延床面積 250 m² を設定する必要がある。

1.2 開発目標と技術課題

表1に開発する無線連動型住警器の目標仕様を示す。電池寿命やサイズは従来の単独型住警器と同等であり、連動時間は従来の有線連動型住警器とほぼ同等であるが、電池寿命を10年とするため、単独型住警器では1本であった電池を2本にしている。また開発品の外観を図2に示す。

表1 無線連動型住警器の仕様

項目	仕様
電池寿命	約10年
連動時間	発報元の警報開始から10秒程度
連動台数	親器1台+子器7台
連動機能	連動鳴動、連動停止、自動復旧
通信エリア	延床面積250m ² 以下の戸建住宅全体
音声機能	警報、登録ガイド、試験
無線方式	RCSR STD-30に準拠する小電力セキュリティ装置
サイズ	φ100×h45



図2 無線連動型住警器

これらの仕様を満たすための技術課題は以下のとおりである。

- (1) 電池寿命と連動時間を両立させるための低消費電力間欠受信技術。
- (2) 小型・低消費電力を実現するための無線回路・音声合成回路技術。
- (3) 単独型住警器にさらに追加となる無線回路、アンテナ、電池等を高密度に収容する構造設計技術。
- (4) 通信エリアを確保するための回線設計技術。

次章以降にこれらの課題の詳細と解決手段について述べる。

2. 低消費電力間欠受信技術

2.1 動作概要

図3に無線連動型住警器のシステム構成を示す。1台の親器と最大7台の子器で構成され、親器は外部機器（住宅用セキュリティーシステム）に対する無線による移報機能も備える。親器-子器間のユニキャスト通信を基本とするが、親器-子器間と子器-子器間のマルチキャスト通信も可能としている。

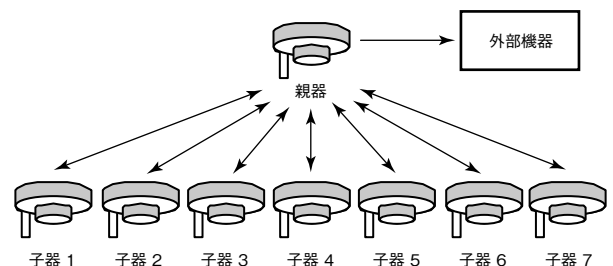


図3 無線連動型住警器のシステム構成

無線連動型住警器には以下の三つの動作状態がある。

(1) 待機

ごく短時間の間欠受信を周期的に行い、メッセージの有無を確認する。

(2) 火災検知

検知動作した火災警報器が火災メッセージを繰り返すとともに他の子器と親器あてにマルチキャスト送信し、すべてが連動して鳴動する。

(3) 火災中

親器または子器の警報停止ボタン操作で検知元以外の連動鳴動を停止し、また火災を検知なくなると自動復旧する。

2.2 非同期／同期切替型通信方式

開発する無線連動型住警器は電池寿命 10 年を満たすとともに、火災検知時には速やかに連動することが求められる。また、別の無線連動型住警器からの新たな火災検知や警報音停止ボタン押下による連動鳴動停止など、命令が輻射するなかでの通信信頼性も求められる。これら要件の両立を達成するため、図 4 に示す非同期／同期切替型通信方式を提案する。

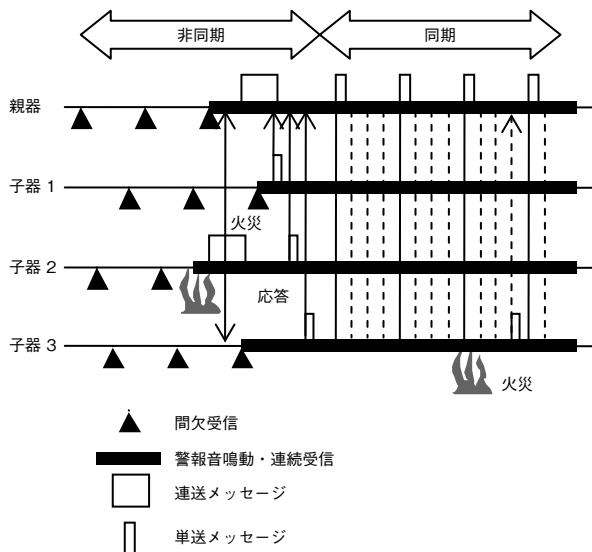


図 4 非同期／同期切替型通信方式

待機状態においては親器とすべての子器が、動作時間率のきわめて低い非同期の間欠受信方式でメッセージの有無を確認している。火災を検知すると無線連動型住警器は火災メッセージを繰り返し（連送）、他の子器と親器あてにマルチキャスト送信する。間欠受信で火災メッセージを受信した火災警報器は、警報音声を鳴動するとともに、連続受信状態になる。親器が起動すると、親器から他の子器に対して連送メッセージを送信する。連送メッセージで起動した子器は親器に応答を送信し、すべての子器からの応答を受信すると親器は周期的にビーコンの送信を開始し、子

器は TDMA (Time Division Multiple Access：時分割多元接続) 方式で親器と通信するようになる。新たな火災検知や火災復旧、ボタン押下などのイベントは TDMA で親器に送信されるため、メッセージが衝突して失われることがない。火災検知したすべての無線連動型住警器で火災復旧すれば、親器からのメッセージ送信によりすべての子器は待機状態になる。

このように、待機状態では親器や子器が非同期に間欠受信して消費電流を削減するとともに、火災状態では親器のビーコンに同期して子器が送受信することで衝突が回避されて通信信頼性を確保している。

2.3 耐干渉性受信待機方式

待機状態での間欠受信時に、無線連動型住警器のメッセージではなく、同じ周波数を使う他の無線機器からの干渉や他の電子機器から発生する電磁ノイズを受けてしまった場合、無線連動型住警器のメッセージか否かを判別するために 1 メッセージ長を受信する必要がある。数 100 ms の受信時間が必要となる。しかし、間欠受信のつど数 100 ms も受信してしまうと、電池寿命は著しく短くなる。

そこで、他の無線機器からの干渉信号や電磁ノイズとの区別を短時間で行えるよう、図 5 に示すように送信メッセージ中に周期的に一定長の同期符号を挿入する特殊な符号化方式を採用する。各無線連動型住警器は、間欠受信時に一定同期時間内に同期符号が検出できることでメッセージを受信したと認識し、検出できない場合は受信を中断する耐干渉性受信待機方式を提案する。この方式により干渉信号や電磁ノイズと無線連動型住警器のメッセージの識別に要する時間を大幅に低減し、一般家庭で想定される電磁ノイズ環境下でも十分な電池寿命を確保している。

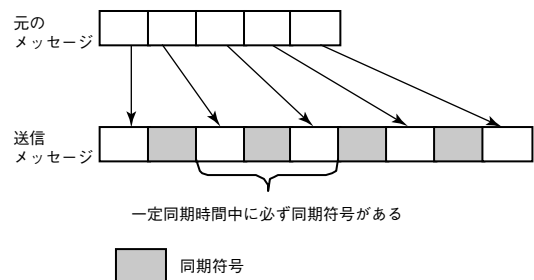


図 5 耐干渉性受信待機方式

3. 無線回路・音声合成回路技術

3.1 回路構成と技術課題

無線連動型住警器は図 6 のブロック図に示すように、煙検知部、CPU、無線部、および音声合成部の 4 ブロックから構成される。各ブロックの機能の概要は以下のとおりである。

(1) 煙検知部

煙検知 ASIC と LED、フォトダイオードと光学部品

から構成され、散乱光式煙検知を行う。

(2) CPU

煙検知部の状態を判断する検知判断、無線送受信するための無線制御およびシステムが連動動作するためのTDMA制御を行う。

(3) 無線部

CPUの制御に従って無線信号の送受信を行う。

(4) 音声合成部

音声合成IC、スピーカアンプ、およびスピーカから構成され、CPUの制御に従って各種音声と音を鳴動する。

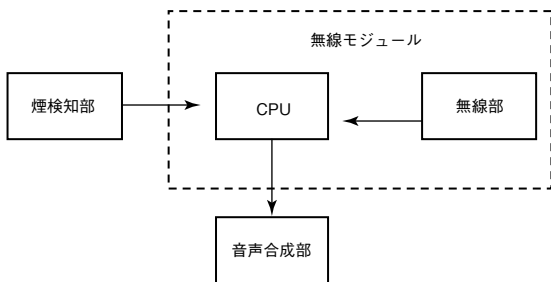


図6 回路ブロック図

無線連動型住警器ではこれらの機能を実現するとともに、電池寿命10年を目標としている。したがって、ハードウェアにも大幅な低消費電力化が求められる。無線連動のために単独型住警器より1本多い2本の電池を使用することから、同等サイズを維持するためには回路部の小型化も求められる。

ここでは、CPUと無線部の低消費電力化や小型化、および音声合成部の低メモリー容量化と高音質設計について述べる。

3.2 無線回路技術

CPUおよび無線部には、パナソニック製の400MHz帯特定小電力無線モジュールを採用している¹⁾。本モジュールはCPUを内蔵する超小型小電力無線モジュールである。このモジュールを搭載することによって無線連動機能の追加による回路面積の増加を抑制している。消費電流の面においては、本モジュールは休止時の消費電流を2.5uAに、受信時消費電流も従来無線モジュールの約1/2となる12mA程度に抑えている。また、フラクショナルN方式周波数シンセサイザを搭載してPLLロックアップタイムを短縮するとともに、中間周波数以降の回路をすべてデジタル信号処理化することでRSSI (Receive Signal Strength Indicator) の立上りを高速化してキャリアセンス動作に必要な時間を短縮している。

3.3 音声合成回路技術

無線連動型住警器は音声により警報する機能のほかに、親器-子器間の登録操作をガイダンスする機能を備えてい

る。したがって収納される音声データは火災を知らせる警報音と警報音声、テストや故障を知らせる報知音と報知音声、および登録時の報知音とガイダンス音声に分かれる。

従来の単独型住警器においては6種類で約4秒の音声データであったが、開発した無線連動型住警器は20種類で約40秒の音声データを必要とし、8bit-PCM (15.8kHz サンプリング) の場合では624kBもの容量となる。そこで音声データをADPCMにより圧縮するとともに、共通するフレーズごとに音声データを作成し、それらを合成することで警報音声やガイダンス音声を再生する方式を提案する。

警報音と警報音声は聞き取りやすさを優先して高ビットレートでのサンプリングを、報知音、報知音声、およびガイダンス音声は低ビットレートでのサンプリングを行って高音質化と低メモリー容量化の両立を図っている。とくに、報知音声とガイダンス音声については官能評価を行い、聞き取りにくい箇所のみサンプリング周波数を上げることで音質の向上を図っている (表2)。

その結果、624kBのPCMデータを92kB以下にまで削減でき、低消費電力、かつ低コストな音声合成ICに収録することを実現している。

表2 音声サンプリング周波数

音声種類	サンプリング周波数 (kHz)	パルス符号変調方式
警報音	15.80	8 bit-PCM
警報音声	12.50	4 bit-ADPCM
報知音	7.80	8 bit-PCM 16 bit-PCM
	6.25	
報知音声 ガイダンス音声	7.80	4 bit-ADPCM
	10.35	

4. 構造設計技術

4.1 構造の概要

開発した無線連動型住警器は、従来の単独型住警器にリチウム電池1本、小電力無線モジュール、アンテナ取付部、および電波チェックボタンを追加し、これと同等サイズに収容したものでなければならない。その収容スペースを確保するため、音響部一体型半埋込式煙検知ブロックを開発する。

4.2 音響部一体型半埋込式煙検知ブロック

従来のブザー警報のみ行う単独型住警器はφ22mmの圧電ブザーで構成される音響ブロック、散乱光式のセンサと外光を遮断するラビリンスで構成される煙検知ブロックを水平に配置していた (図7)。

開発品は音声による警報であり、聞き取りやすい高音質の音声と87dB以上の音圧の警報音を、従来の単独型住警器と同等のサイズで実現するためにφ36mmの大口径ス

ピーカを採用する。しかし、煙検知ブロックを中央に、音響ブロックをその横に並べて配置すると、従来と同じ直径サイズφ 100に収まらないという問題が生じる。

また、音響ブロックと煙検知ブロックを重ねて筐体内に収める構造では、音響ブロックは背面キャビティー（以下、キャビティーと記す）を十分に確保できないため音響特性が悪くなる。さらに、煙検知ブロックの煙流入口が狭くなるため、煙流入性が低下して煙検知性能が悪くなるという問題がある。

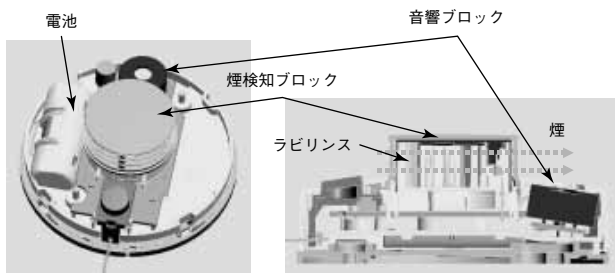


図7 ブザー警報の単独型住警器の構造

そこで、開発した音響部一体型半埋込式煙検知ブロックでは、図8に示す音響ブロックと煙検知ブロックの間の隔壁の一部に貫通孔を設け、キャビティーをラビリンス内に拡張することで音響特性を改善して音圧 87 dB 以上を達成している。

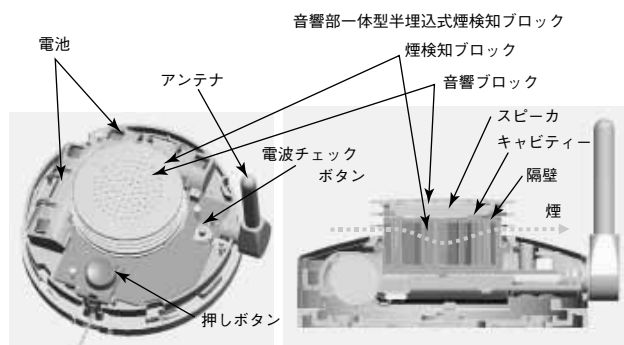


図8 無線連動型住警器の構造

図9に示す流入抵抗の小さい簡易型ラビリンス壁と流入した煙を所定位置に導く煙誘導壁の採用、および非飽和検知ASICの開発により、外乱光による特性劣化がなく従来品同等の煙検知性能を達成している。

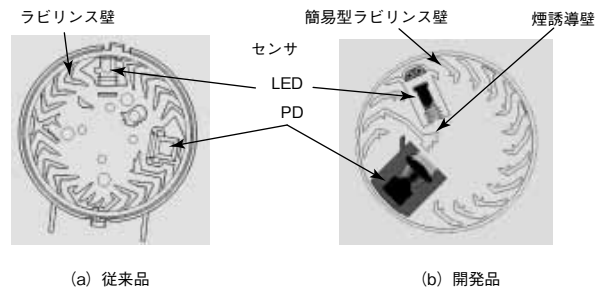


図9 簡易型ラビリンス構造

4.3 アンテナの配置

当社の単独型住警器は、天井面取付けと壁面取付けの両方ができることが特徴の一つである。そこで無線連動型住警器では、取付位置に合わせてアンテナの指向性を変えられるように、可動式アンテナを筐体外に突出させ、手動で角度を調整できる構造を提案する。

アンテナを筐体外に出すことによる質量バランスと煙流入性への影響に対しては次の工夫によって解決している。

質量バランスは、フックを用いた壁面取付けの場合に無線連動型住警器が傾かないために重要であり、アンテナエレメントと電池等の配置バランスによって対応している。

煙流入性は、流体解析シミュレーションを使い、アンテナが煙検知ブロックに影響を及ぼさない配置を検討して決定している。

図10にシミュレーションによる圧力分布解析結果の例を示す。アンテナの影響はその周囲に限定され、煙検知ブロックにはほとんど影響していないことが確認できる。

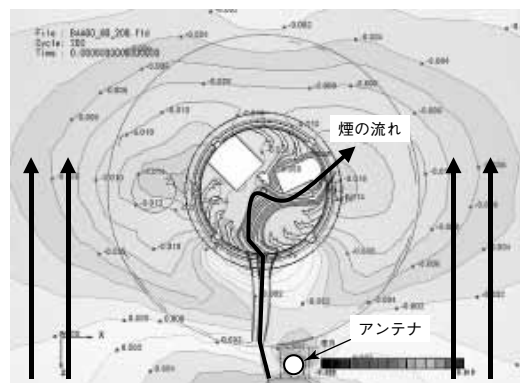


図10 圧力分布解析

このことは実測においても、アンテナの可動範囲の全範囲で確認している。

5. 回線設計技術

5.1 戸建住宅における回線設計

先に述べたとおり、無線連動型住警器の設置対象となるのは主に戸建住宅である。

本稿では戸建住宅として十分な広さと考えられる延床面

積 250 m² 程度の木造 2 階建住宅に対する回線設計について説明する。

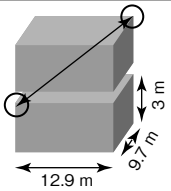
屋内伝搬損失を、次式で定義する。

$$\begin{aligned} \text{屋内伝搬損失} \\ = \text{自由空間損失} + \text{室係数} + \text{壁損失} + \text{床損失} \\ + \text{フェージング} \end{aligned} \quad (1)$$

室係数は屋内の間仕切壁や家具等によって生じる透過損失を統計的に平均化した係数で、1 m ごとに 0.3 dB の透過損失があるものとして扱う。フェージングは直達波と反射波の合成時の位相差によって生じる変動で、木造住宅の場合には最大 10 dB の変動が観測される。

延床面積 250 m² の木造 2 階建住宅の屋内伝搬損失例を表 3 に示す。

表 3 屋内伝搬損失の計算例

	伝搬損失 (dB)
自由空間損失	49.3
室係数 (0.3 dB/m)	4.9
壁損失	0
床損失	0
フェージング	10.0
屋内伝搬損失	64.2
通信距離	

木造 2 階建でもっとも屋内伝搬損失が大きくなるのは、1 ~ 2 階間で対角となる位置に無線連動型住警器が配置される場合であり、屋内伝搬損失は 64.2 dB となる。

無線連動型住警器の送信電力は 10 dBm、設置時に行う電波チェックの受信感度は 15 dBuV (-92 dBm)、送受信アンテナ利得は -10 dBi であることから許容回線損失は 10 dBm - (-92 dBm) - 10 dBi - 10 dBi = 82 dB 以下となる。

前記屋内伝搬損失 64.2 dB と許容回線損失 82 dB を比較すると約 18 dB の回線マージンが残されており、無線連動型住警器は戸建住宅への適用に対して十分に電波が到達する性能を有しているといえる。

5.2 シミュレーションおよび実測

前記回線設計方法の妥当性を確認するため、モデルハウス (木造 2 階建、延床面積 237 m²) でのシミュレーションを行い、その結果を図 11 と図 12 に示す。無線連動型住警器の親器を 1 階リビングルームに設置し、屋内外の伝

搬損失をシミュレーションしている。シミュレーションにはレイトレース法を用いており、これは床や壁の透過損失だけでなく、反射や回折などの現象も再現し、前述の計算式よりも精密な解析方法といえる。

シミュレーション結果からわかるように、屋内のほとんどの場所においても伝搬損失が 60 dB 以下となっており、回線設計結果とよく一致している。また実測でも同等の結果を得ており、戸建住宅における実際の電波伝搬とほぼ一致している。

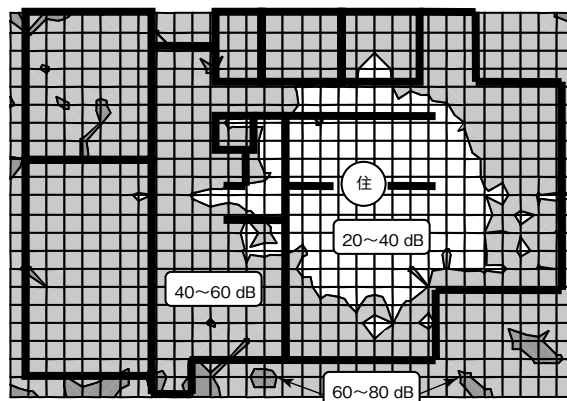


図 11 モデルハウス 1 階の電波伝搬シミュレーション

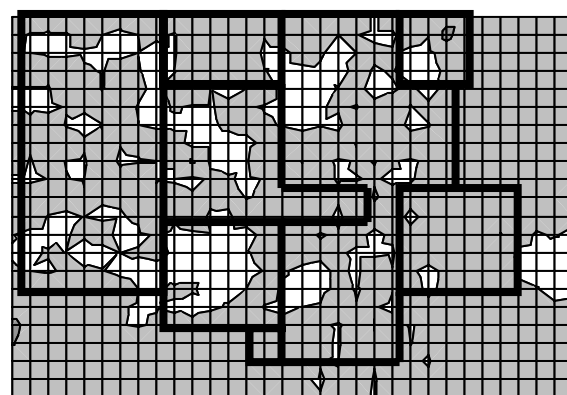


図 12 モデルハウス 2 階の電波伝搬シミュレーション

6. あとがき

電池式無線連動型住宅用火災警報器において、非同期/同期切替型通信方式や耐干渉性受信待機方式などの開発によりリチウム電池 2 本で約 10 年の電池寿命を、超小型小電力無線モジュールの採用と音響部一体型半埋込式煙検知ブロックの開発により従来の電池式住宅用火災警報器と同等サイズを実現した。また、煙流入性に影響を及ぼさないアンテナ配置と屋内電波伝搬を考慮した回線設計により、戸建住宅において十分に電波が到達することをシミュレーションと実測の両面で確認した。

開発した無線連動型住警器は、配線工事が不要で既存住宅へも設置が容易であり、1 箇所の火災検知をすべての火

災警報器が連動して鳴動し、既存住宅への住警器設置義務化に対応して提供することができた。

今後は一層の低コスト化と低消費電力化の研究開発を推進し、無線連動型住警器の普及を図っていく予定である。

*参考文献

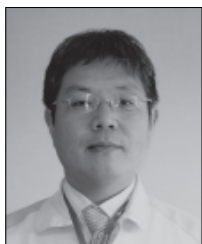
- 1) 吉川 嘉茂：超小型特定小電力無線モジュールとその応用，松下テクニカルジャーナル，Vol. 52, No. 5, p. 65-69 (2006)

◆執筆者紹介



長田 雅裕

情報機器 R & D センター
ネットワーク
スペシャリスト



松本 一弘

情報機器 R & D センター



藤井 隆

情報機器 R & D センター



栗田 昌典

情報機器 R & D センター



奥野 裕寿

情報機器 R & D センター



大和 弘治

情報機器 R & D センター