

グローバル対応 超低消費電力 小電力無線LSIとその応用

Application of Global-Band Ultra-Low-Power-Consumption Low-Power Radio Wireless LSI

吉川 嘉茂
Yoshishige Yoshikawa

渡邊 崇士
Takashi Watanabe

滝田 敏夫
Toshio Takita

一倉 孝宏
Takahiro Ichikura

渡邊 学
Manabu Watanabe

生田 功
Isao Ikuta

要 旨

400 MHz帯や900 MHz帯の小電力無線は、低消費電力で通信距離が長いという特徴がある。今回、運用時の消費電力を従来品の1/2に削減して業界トップレベルの低消費電力を達成した無線LSIを開発した。従来品の400 MHz帯に加え、欧州や米国などで使用できる900 MHz帯に対応してグローバル対応とした。また、WL-CSP (Wafer Level Chip Size Package) を採用して無線モジュールの体積を従来比1/2に小型化した。

消費電力が非常に小さく小型形状であるという特徴を生かし、さまざまな分野への応用が期待できる。メータ自動検針システムやセキュリティ分野に加えて、家電ホームネットワークへの応用が考えられる。防犯センサや火災報知機に適用し、小型電池で15年以上の長時間駆動が可能である。

Abstract

400 MHz-band and 900 MHz-band low-power radio is characterized by low power consumption and long transmission distance. We have developed a wireless LSI that achieves even lower power consumption of less than 1/2 of our previous model during typical actual operation. This LSI can be used for global frequency bands, offering the 900 MHz-band used in Asia, Europe and USA in addition to the 400 MHz-band of our previous products. It also achieves smaller module size of less than 1/2 of our previous model by adopting Wafer Level Chip Size Package (WL-CSP).

Because of its ultra-low power consumption and small size, it can be applied to many applications in various fields, such as Automated Meter Reading (AMR), security sensors, and consumer-appliance home-network systems. If it is applied as a security sensor or a fire alarm, it can be driven for a long time (over 15 years) using a small-sized battery.

1. はじめに

400 MHz帯や900 MHz帯の小電力無線は、通信距離が長く、消費電力が小さいという特徴がある。当社は、低消費電力に特化した400 MHz帯の無線LSIを商品化し、家庭のガスメータ自動検針システム、防犯センサ、火災報知機、携帯電話のセキュリティキーなどで商品化している¹⁾⁻⁴⁾。

近年、家電機器に通信機能をもたせて相互に通信を行い、環境や省エネの面でメリットを出す家電ホームネットワークへの関心が高まっている。この用途では、壁や床を通過して家じゅうの隅々まで届く長い通信距離が必要であり、また待機電力ゼロの機器や電池駆動の機器にも対応する必要があることから、小電力無線が有利である。また、本格的な普及のために、無線機の更なる小型化や低コスト化が要望されている。今回、更なる低消費電力化とグローバル周波数バンドへの対応を図った無線LSIを開発した。本稿では、本LSIの特徴およびその応用について述べる。

2. 400 MHz帯 / 900 MHz帯 小電力無線の特徴

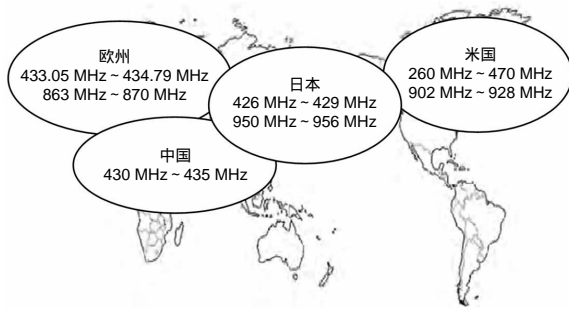
2.4 GHzや5 GHzを用いる無線LAN (Local Area Network) は、伝送速度が大きく通信距離も比較的長いですが、消費電力が大きいため、電池による長時間駆動に向かない。また、Bluetooth[®](注1)やZigBee[™](注2)は、低消費電力であるが通信距離が比較的短いため、家全体をつなぐような通信には適用しにくい。

一方、400 MHz帯や900 MHz帯の小電力無線は、比較的低い周波数を用いているため通信距離が長く(見通し約2 km, 建物内約50 m)、消費電力が最も小さいという特徴がある。

また、グローバルな展開が可能であることも特徴である。第1図に、世界の周波数割り当ての状況を示す。400 MHz帯は、426 MHz/429 MHzが日本の特定小電力無線に、433 MHzが欧州やアジア諸国でISM (Industry Science Medical) バンドとして割り当てられている。900 MHz帯は、868 MHzが欧州、915 MHzが米国で割り当てられており、'08年

(注1) Bluetooth SIG, Inc. の登録商標

(注2) ZigBee Alliance, Inc. の商標



第1図 400 MHz帯 / 900 MHz帯 世界の周波数割り当て
Fig. 1 Global sub -1 GHz license-free frequencies

には、日本で950 MHzが特定小電力無線に割り当てられた。

3. 無線LSIの特徴

3.1 無線LSIの特性

第1表に、無線LSIの主な特性を示す。業界トップレベルの低消費電力と受信感度などの無線性能を両立した。とくに、受信感度は伝送レート4.8 kbit/s時に-120 dBmと良好であり、送信出力10 dBm時にリンクパジエット130 dBを得た。そして、欧州、アジア、米国など各国の430 MHz、868 MHzおよび915 MHzの各バンドで使用でき、更に世界的にも性能基準が厳しいとされる日本の特定小電力無線の規格 (ARIB-STD T67⁵⁾ほか) を満たす数少ない無線LSIの1つである。

第1表 無線LSIの主な特性

Table 1 Characteristics of wireless LSI

項目	特性 [Typ.]	
電源電圧	1.8 V ~ 3.5 V (2.3 V ~ 3.6 V)	
電流	受信	12.4 mA (24.6 mA)
	送信 (出力10 mW)	22.8 mA (29.2 mA)
	休止	1.5 μA -
受信感度 [BER < 10 ⁻²]	-120 dBm (-118 dBm)	
耐妨害波 (感度抑圧)	隣接チャネル選択	46 dB (40 dB)
	1 MHz離調	74 dB (69 dB)
	イメージ周波数	61 dB (50 dB)
立ち上がり時間	PLL初期収束	89 μs -
	RSSI	280 μs (390 μs)
キャリアセンス所要時間	0.5 ms -	
ローカルリーク	-89 dBm -	
VCO C/N [In-Band]	-96 dBc/Hz	
周波数範囲	420 MHz ~ 450 MHz	
	840 MHz ~ 928 MHz	
変調方式 / 伝送速度	2値FSK / 2.4 kbit/s, 4.8 kbit/s 他	
	4値FSK / 48 kbit/s, 72 kbit/s 他	
チャネル間隔	12.5 kHz, 25 kHz, 50 kHz, 100 kHz	

印：伝送レート4.8 kbit/s時， ()内：A社製品 参考値

BER : Bit Error Rate

C/N : Carrier to Noise ratio

3.2 低消費電力化

本LSIでは、実運用時の電力消費要素を洗い出し、各要素に対して電流削減の改良を施した。とくに、間欠受信待ち受け時のキャリアセンス動作では、回路の動作時間を極力短くすることが低消費電力化に有効であり、本LSIで注力した点である。その効果について従来品と比較して説明する。

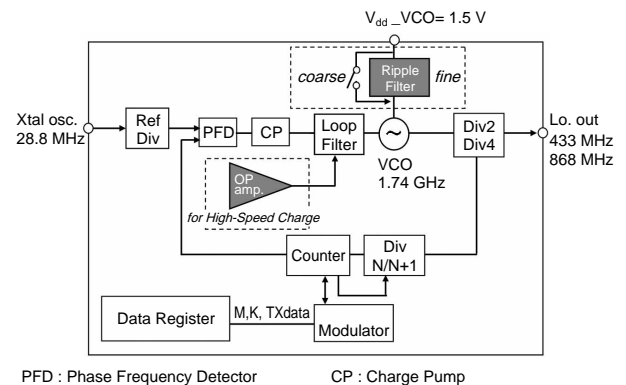
〔1〕PLL周波数収束時間の短縮

第2図に、VCO (Voltage Controlled Oscillator) /PLL (Phase Locked Loop synthesizer) の構成を示す。リップルフィルタ部とループフィルタ部に切り替え回路を備える構成とした。

VCOの電源投入時にノイズ除去用リップルフィルタをバイパスし、内蔵電源からVCOへ直接給電することでVCOの発振を高速に立ち上げ、その後リップルフィルタを通過したノイズが小さい電源に切り替える構成とした。これによりVCOの高速起動を実現した。

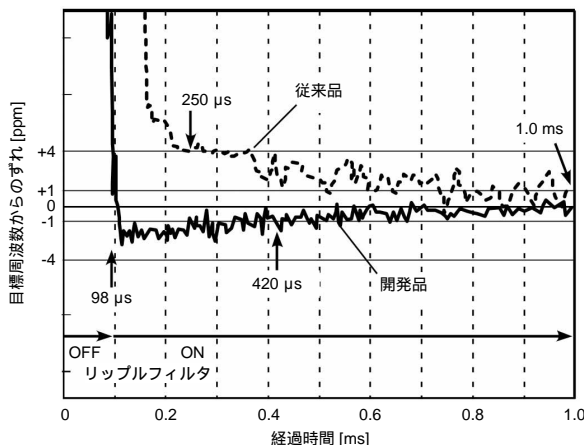
また、PLLの周波数収束でボトルネックであったループフィルタの立ち上がり時間短縮のために、高速充電 (High-Speed Charge) 用として、広い電圧可変範囲が得られるフォールデッドカスコード型OPアンプ (Operational Amplifier) を用いた。併せて、ループフィルタの容量を1500 pFから700 pFに削減し、チップ面積の削減を行っている。

第3図に、VCOとPLLの電源投入時からの周波数収束特性を示す。上記の改良により、VCO周波数の目標周波数からのずれが±4 ppm以内となるまでの収束時間を250 μsから98 μsに短縮し、更に狭帯域バンド (チャンネル間隔12.5 kHz) の通信で必要となる目標周波数±1 ppm以内への収束時間を1.0 msから420 μsに短縮した。これにより、間欠受信時のキャリアセンス時間や復調開始までの時間を短縮した。



第2図 VCO/PLLの構成

Fig. 2 PLL synthesizer circuit configuration



第3図 VCO/PLL電源投入時の周波数収束特性

Fig. 3 VCO/PLL frequency setting characteristics

〔2〕高速水晶発振立ち上がり時間の短縮

本LSIでは、基準信号源として周波数28.8 MHzの高速水晶発振子を用いている。発振立ち上がり時間を短縮するために、電源投入時に水晶発振回路のアンプ利得を大きくし、発振振幅を検出した後に通常利得に切り替わる高速立ち上げ回路を導入した。これにより、発振振幅90%までの立ち上がり時間を1.3 msから0.3 msに大幅に短縮した。水晶発振立ち上がり時間の短縮は、間欠動作の頻度を上げた運用時に低消費電力化の効果が特に大きい。

〔3〕レジスタ設定時間の短縮

間欠動作では、受信開始時にMCU (Micro Controller Unit) を高速モードに切り替えてから直ちに受信または送信動作に移行するのが望ましいが、従来品では無線回路の各レジスタ設定に時間を要していた。そこでレジスタ設定を自動的に行う回路を導入し、所要時間を1.0 msから10 μ sに短縮した。

また、周囲温度など環境変化に対応するためにVCOの発振周波数バンドの最適値を検出するバンド検出動作を定期的に行う必要があるが、検出回路を改良し所要時間を100 μ sから60 μ sに短縮した。

また、受信動作中に受信周波数のずれを補正するAFC (Auto Frequency control) 動作を行う必要があるが、AFC回路を改良し、所要時間を200 μ sから20 μ sに短縮した。

〔4〕伝送レートの高速度化

通信伝送レートの高速度化は、通信パケット時間長の短縮となり、低消費電力化に効果がある。

伝送レートの高速度化のために、デジタル信号処理部の処理クロックを72 kHz から360 kHz まで高速化し、チャンネル選択フィルタの広帯域化と復調処理の高速化を行うことにより、通信伝送レートを従来品の最大19.2 kbit/s から最大72 kbit/s に高速化した。受信回路のチャンネル

選択フィルタや復調処理の設定が処理クロックに連動して切り替わる構成とすることで、回路規模の増加なく伝送レートの可変を実現している。そして、受信感度を上げて通信距離を確保する用途を考慮し、最小2.4 kbit/s から最大72 kbit/s までの複数の伝送レートを選択可能とした。

また、送信回路のFSK (Frequency Shift Keying) 変調処理はPLLによる直接変調とし、伝送レートに応じてPLLループ帯域を40 kHz ~ 80 kHzで可変する構成とした。

〔5〕休止モード電流の削減

32 kHz低速水晶発振によるタイマ動作となる休止モードの消費電流は、休止用レギュレータの電流半減、不要ブロックの電源遮断、クロックゲーティングの徹底により、従来品の2.5 μ Aから1.5 μ Aに削減した。

〔6〕電源レギュレータ電流の削減

アナログ部およびデジタル部の各回路ブロック用に合計4個の電源レギュレータを搭載している。各レギュレータの動作電流の削減を行い、更に水晶発振回路立ち上げ時に、アナログ部のレギュレータをオフにできる構成にして、消費電流を480 μ Aから100 μ Aに削減した。

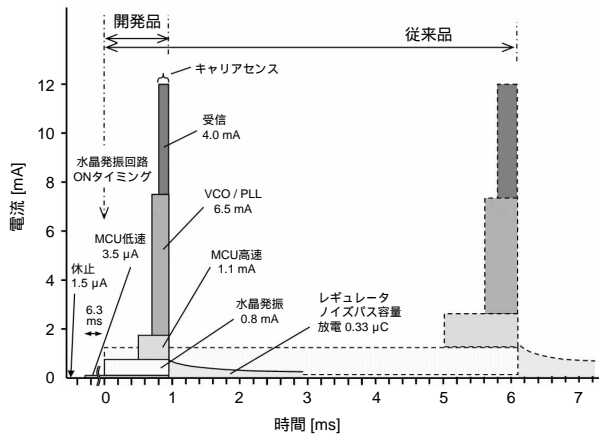
また、各レギュレータ出力端子に接続するノイズパスコンデンサの容量を1.0 μ Fから0.1 μ Fに削減した。ノイズパスコンデンサに充電された電荷は休止モード時に放電するため、間欠動作における消費電流増加の要因となる。従来品では、頻繁に間欠動作を行った場合に全消費電流の20%以上を占める場合があったが、本LSIでは、大幅に低減している。

〔7〕受信動作シーケンス

以上のようなさまざまな工夫により、実運用時の消費電流を大幅に削減している。以下に、具体的な動作でその効果を説明する。

第4図に、キャリアセンス動作時の電流変化の例を示す。電源電圧2 Vにおいて消費電力は、動作電流 \times 動作時間で表され、第4図のグラフの面積に相当する。ここで、キャリアセンス動作とは、RSSI (Received Signal Strength Indicator, 受信レベル検出) 回路を用いて、受信信号 (キャリア) の強度を検出するものである。間欠的にキャリアセンス動作を行い、キャリア有りと検出した場合は受信動作を延長して復調動作を行う。キャリア無しと判断した場合は直ちに受信動作を中止し、休止モードに移行する。

本LSIでは、キャリアセンス動作の所要時間を大幅に短縮しており、キャリアセンス動作1回分の消費電荷量は3.9 μ Cを達成した。これは、従来品の約1/4の消費電流に相当する。



第4図 キャリアセンス動作の電流変化の比較

Fig. 4 Current variation in career sense operation

3.3 グローバル周波数バンドの対応

本LSIでは、従来の400 MHz帯に加えて900 MHz帯に対応するため、VCOの発振周波数を1.8 GHzに変更した。これにより、第1図に示した世界各国で使用することができるため、無線応用商品のグローバル展開が可能となる。

3.4 無線LSIの小型化

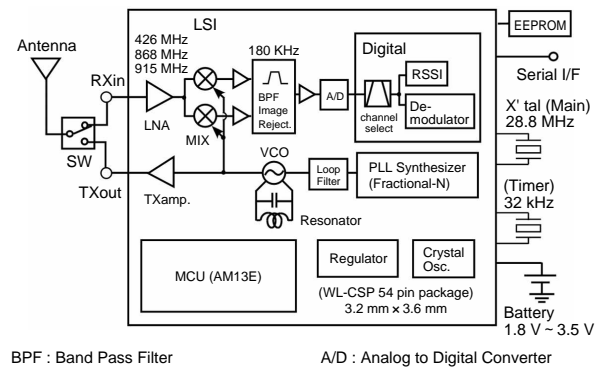
8 bit MCUと、高周波回路 (Low Noise Amplifier : LNA, ミキサ, 送信アンプ), フィルタ回路, 変復調回路, 局部発振器 (VCO, PLL), 水晶発振回路, 電源レギュレータを1チップに集積化した。

MCU部のROM (Read Only Memory) サイズを従来品の64 kBから80 kBに拡大したが、チップ面積は14.7 mm²から12.2 mm²に削減した。また、WL-CSP (Wafer Level-Chip Size Package) を採用し、パッケージ寸法を3.2 mm × 3.6 mm × 0.45 mmに小型化した。

4. 無線モジュールの構成

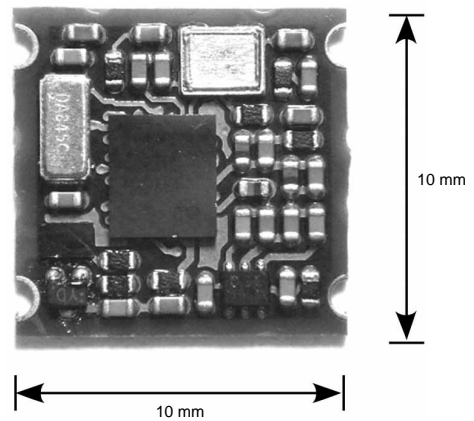
第5図に、本LSIを用いた無線モジュールの構成を示す。また、第6図に無線モジュールの外観を示す。無線LSIと基準信号用の水晶振動子、アンテナスイッチ、調整値記録用のEEPROM (Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory) で構成されている。

無線LSIにWL-CSPを採用したことにより無線モジュールの小型化が可能となり、モジュール寸法10 mm × 10 mm × 1.8 mm (体積0.18 cm³) を実現した。



第5図 無線モジュールの構成

Fig. 5 Structure of wireless module



第6図 無線モジュールの外観

Fig. 6 Appearance of wireless module

5. 応用展開

5.1 応用分野

小型で消費電力が非常に小さいため、従来の小電力無線の商品枠を越えて、さまざまな分野への応用が期待できる。メータ自動検針分野やセキュリティ分野に加えて、家電への組み込み、車載、流通、公共インフラなどへの応用が考えられる。

5.2 防犯センサ、火災報知機

防犯センサ (窓侵入センサ, 人感センサなど) や防災センサ (火災報知機, ガス漏れセンサなど) では、電池で数年または十年以上の長時間駆動が求められる。間欠受信待ち受け時の消費電力が非常に小さいという特徴を生かして、従来の単方向通信ではなく、双方向通信を行うことが可能となり、これにより機能の拡張を図ることができる。たとえば、センサの動作モードを状況に応じて遠隔で変更したり、各センサを連動して動作させるこ

とが可能である。また、電池を小型化できるため、コスト面で有利であり、またデザインの自由度が大きくなる。

5.3 ホームネットワーク

ホームネットワーク用途では、白物家電を含む家じゅうの家電機器に無線通信機能をもたせ、さまざまな運用を行うことが可能となる。第7図に、各家電を連携して制御する家電ホームネットワークの構成イメージを示す。

エアコン、照明などの状態をDTVに表示したり、IHクッキングヒータ、エアコン、ヒートポンプ湯沸器を連携制御して電力ピークカットや省エネの効果を出すなど、家まるごとでメリットを出す運用が考えられる。

第8図は、周波数433 MHzバンドで運用した時の消費電力の試算結果である。条件として、3秒間隔でキャリアセンス動作を行い、機器間の通信頻度は1日あたり100回、1回あたりのデータ量は100 bit とし、1往復の通信とした。また、他機との通信衝突による動作時間延長の影響を考慮し、干渉台数は5台とした。開発品は、キャリアセ

ンス動作や受信動作をはじめとする各動作要素の消費電力を総合的に削減しており、A社製品の約1/4、当社従来品の約1/2の消費電力を実現している。本運用条件での平均電流は、7.0 μ Aと非常に小さく、小型電池（リチウムCR-2/3AZ；公称容量1600 mAh）で15年以上の駆動が可能である。

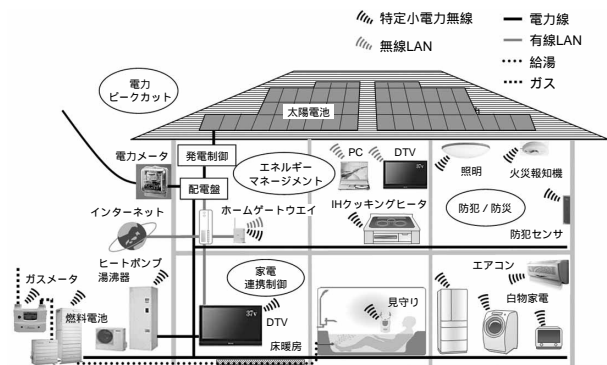
6. まとめ

MCUと無線回路を統合したグローバル対応 超低消費電力無線LSIを開発した。高い無線性能を満たしながら、キャリアセンス時間の短縮や高速伝送をはじめとする消費電力削減のための工夫を随所に盛り込み、当社従来品に比べて1/2以下となる大幅な低消費電力化を実現した。

消費電力が非常に小さく小型形状であるという本LSIの特徴を生かし、さまざまな商品へグローバルに応用展開が期待できる。新しい商品分野への適用が可能であり、家電ホームネットワークへの応用が期待できる。今後、本LSIの特徴を最大限に生かした応用商品の展開を図っていく。

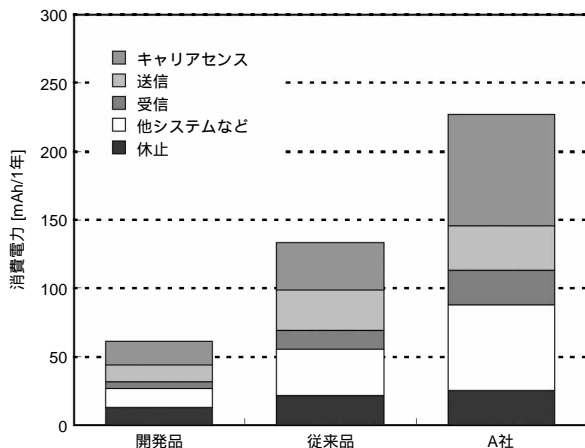
参考文献

- 1) 吉川嘉茂 他：超小型特定小電力無線モジュールとその応用 Matsushita Tech. Journal 52, No.5, pp.65-69 (2006).
- 2) G. Hayashi, et Al. : A 10.8 mA single chip transceiver for 430 MHz narrowband systems in 0.15 μ m CMOS. ISSCC 2006, pp.374-375.
- 3) 吉川嘉茂 他：特定小電力無線モジュール Matsushita Tech. Journal 50, No.3, pp.36-41 (2004).
- 4) 吉川嘉茂 他：マイクロRFユニット Matsushita Tech. Journal 47, No.1, pp.84-90 (2001).
- 5) (社)電波産業会：ARIB STD-T67 特定小電力無線局テレメータ用、テレコントロール用およびデータ伝送用無線設備 標準規格 (2000.7).



第7図 家電ホームネットワークの構成

Fig. 7 Consumer electronics Home-Network system



第8図 運用時の消費電流の試算結果

Fig. 8 Calculation result of current consumption

著者紹介



吉川嘉茂 Yoshishige Yoshikawa
ホームアプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Home Appliances Company



渡邊崇士 Takashi Watanabe
ホームアプライアンス社 情報デバイスビジネス
ユニット
Information Devices Business Unit,
Home Appliances Company
工学博士



滝田敏夫 Toshio Takita
パナソニック セミコンダクターシステムテクノ
(株)
Panasonic Semiconductor Systems and Technology
Co., Ltd.



一倉孝宏 Takahiro Ichikura
パナソニック セミコンダクターシステムテクノ
(株)
Panasonic Semiconductor Systems and Technology
Co., Ltd.



渡邊 学 Manabu Watanabe
戦略半導体開発センター
Strategic Semiconductor Development Center



生田 功 Isao Ikuta
戦略半導体開発センター
Strategic Semiconductor Development Center