

IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ “温度拡張型IoT GW”

中江 伸*
磯田洋平*

Mitsubishi Communication Gateway for IoT System Operating at High Temperature

Shin Nakae, Youhei Isoda

要 旨

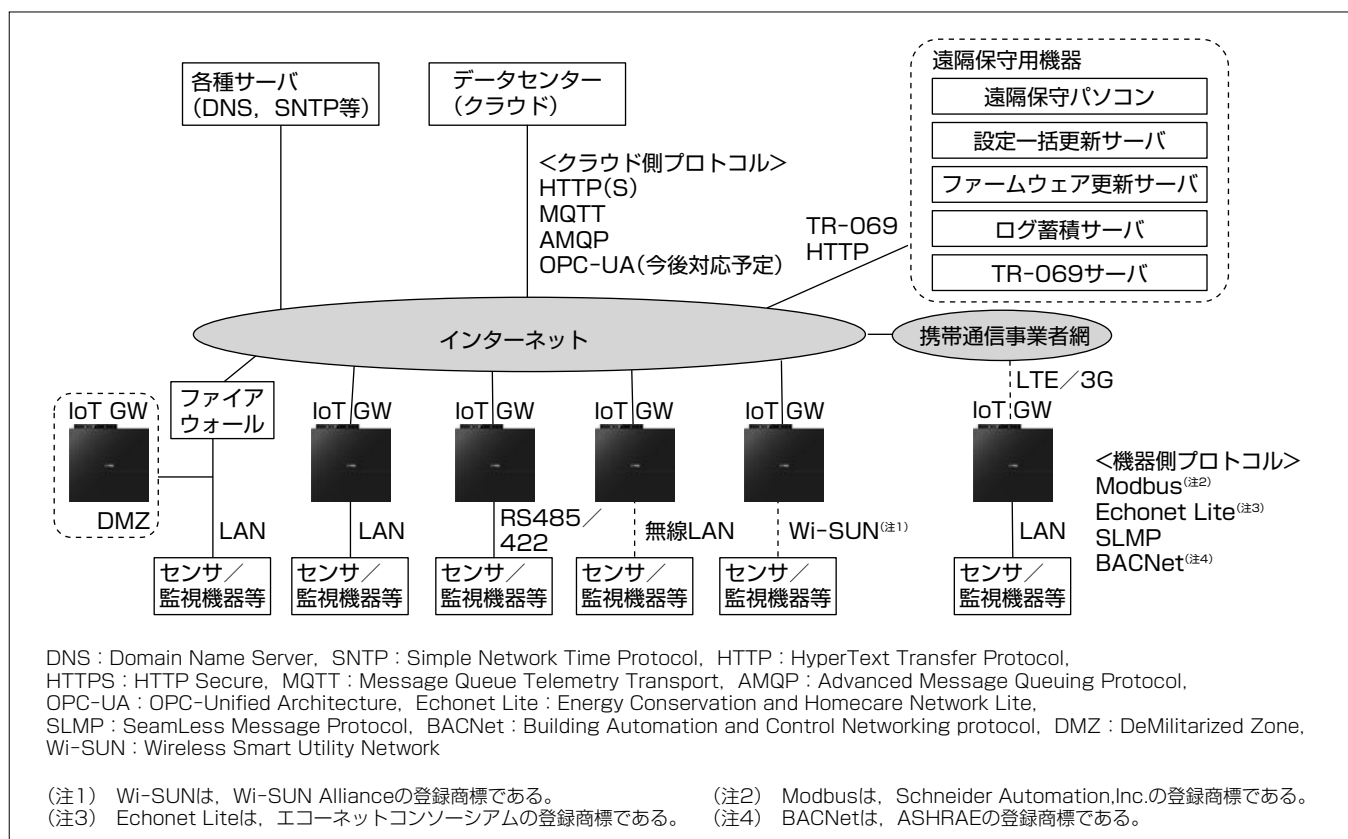
近年、センサや監視機器等からのデータ収集、クラウドでの蓄積データに基づく分析、制御を行うIoT(Internet of Things)システムの適用事例が増えている。センサや監視機器等を収容するネットワークとクラウドをつなぐ通信ゲートウェイ装置は、データの一次処理やプロトコル変換等の機能を担い、機器を制御する様々なサービスのための装置として重要な役割を果たしている⁽¹⁾。

三菱電機は、家庭向けのホームゲートウェイを始め、HEMS(Home Energy Management System)対応三菱通信ゲートウェイ⁽²⁾、三菱通信ゲートウェイ“smartstar”⁽³⁾等の通信ゲートウェイ装置を製品化してきた。これらの技術を用いて、IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ(以下“IoT GW”という。)を製品化することにし、3種類のラ

インアップを計画した。

今回、2017年に製品化した標準型IoT GW(以下“標準型”という。)をベースに、無線WAN(Wide Area Network)通信機能、SDカードスロットを搭載しつつ、動作温度上限を55℃に拡張し、平置き設置を可能にした温度拡張型IoT GW(以下“温度拡張型”という。)を製品ラインアップに加えた。

温度拡張型は、温度上限拡張と平置き設置への対応によって標準型と比較して25℃の温度上昇となる。これに耐え得る放熱構造の設計と、限られた実装スペースへの無線WAN通信用モジュールの内蔵、SDカードに対するフェールセーフ機能の追加を行った。



IoT GWを用いたシステム

IoT GWは配下に接続されたセンサや監視機器等からデータを受信し、クラウドにデータを送信する。また、Modbus, Echonet Lite等のプロトコルを用いたIoT GW上で動作する監視制御アプリケーションを構築可能である。IoT GWでは、データの一次処理を行うため、現地で高速に監視・制御できる。また、全てのデータをクラウド側に送信する必要はないため、クラウドサーバの負荷、ネットワークデータ量を削減できる。

1. ま え が き

近年、センサや監視機器等からのデータ収集、クラウドでの蓄積データに基づく分析・制御を行うIoTシステムの適用事例が増えている。センサや監視機器等が収容されるネットワークとクラウドをつなぐ通信ゲートウェイ装置は、データの一次処理やプロトコル変換等の機能を担い、機器を制御する様々なサービスのための装置として重要な役割を果たしている。

当社は、2017年にIoTシステム向けの通信ゲートウェイ装置として、動作温度0～40℃に対応する標準型と、豊富なインタフェースを持ち、動作温度-20～55℃、防塵(ぼうじん)防水IP53を実現した耐環境型IoT GW(以下“耐環境型”という。)を製品化した⁽⁴⁾。これら2機種は、各種IoTシステムでの運用検証が始まっている。

今回、標準型をベースに、無線WAN通信機能、SDカードスロットを搭載しつつ、動作温度上限を55℃に拡張し、平置き設置を可能にした、温度拡張型を製品ラインアップに加えた。

本稿では、温度拡張型開発での課題と対策について述べる。

2. 現行機種と温度拡張型

2.1 標準型と耐環境型

2017年に製品化したIoT GWの仕様を表1に示す。

表1. 標準型と耐環境型の仕様

	標準型	耐環境型
外観		
CPU	ARM Cortex-A9 ^(注5) ×2, 900MHz	
メインメモリ	512MB	
フラッシュメモリ	256MB	
WAN	100BASE-TX/1000BASE-T, RJ45, 1ポート	
LAN	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T, RJ45, 4ポート	
無線WAN(内蔵)	なし	LTE Cat1, SMA, 2ポート, アンテナ外付け
無線LAN	IEEE802.11b/g/n 2.4G, 3×3, アンテナ内蔵	IEEE802.11b/g/n 2.4G, 1×1, アンテナ内蔵
USB	USB2.0, Type-A, 2ポート	
シリアル通信	なし	RS485/422, 端子台, 1ポート
構造	筐体寸法	40(W)×173(D)×168(H)(mm)
	設置形態	スタンド, 壁掛け
環境	動作温度	0～40℃
	防塵防水	なし(IP20)
電源	ACアダプタ	AC100V, 50/60Hz
	DC端子台	なし
	PoE	なし

LTE: Long Term Evolution, SMA: Sub Miniature Type A
PoE: Power over Ethernet

(注5) Cortexは、ARM Ltd.の登録商標である。

(1) 標準型

動作温度範囲は0～40℃で、主に空調環境のオフィス等での使用を想定している。WAN用に1ポートとLAN用に4ポートの1000Base-T, USB2.0のType-A端子2ポートを具備している。

(2) 耐環境型

環境条件の厳しい工場等での使用を想定し、動作温度範囲は-20～55℃、防護等級IP53に対応する。標準型のインタフェースに加え、DC入力、PoE受電、RS485/422、無線WAN通信機能を具備している。

2.2 温度拡張型での追加仕様

温度拡張型は、コスト上昇を抑制しつつ、高温での動作を保証する仕様とした。

(1) 動作温度55℃

耐環境型でも対応済みの動作温度範囲であるが、低コストに55℃対応を実現するため、標準型をベースに放熱性能を向上させる。

(2) 平置き設置対応

標準型はスタンド設置及び壁掛け設置、耐環境型は壁掛け設置に対応している。温度拡張型は、スタンド設置、壁掛け設置に加え、ラックへの設置を想定した平置き設置にも対応することにした。平置き設置は装置内に熱がこもり、最も厳しい条件となるため、放熱性能の向上が必要になる。

(3) 無線WAN通信機能内蔵

有線で回線を引き込むことが困難な場所への設置を想定し、無線WAN通信機能を内蔵した。標準型にはない通信モジュールを新たに内蔵するため、放熱対策と実装面積が課題になる。

(4) SDカード対応機能搭載

IoT GWが配下機器から収集したデータや、IoT GW上で動作するアプリケーションのログデータ等を保存するためSDカードスロットを搭載した。遠隔地に設置されるため、SDカードからの応答が停止してしまった場合に備えてフェールセーフ機能が必要である。

3章では、これら仕様を実現する方法を述べる。

3. 温度拡張型IoT GW

3.1 概要と主要諸元

2章で述べた仕様に対応するため、標準型をベースに、無線WAN通信機能を内蔵し、SDカードスロットを搭載した。その上で、温度条件が最も厳しくなる平置き設置状態での動作温度55℃への対応を実現した。温度拡張型の本体外観を図1に、主要諸元を表2に示す。

3.2 動作温度55℃と平置き設置への対応

3.2.1 放熱上の課題

ファン等のアクティブな放熱方法を持たない機器

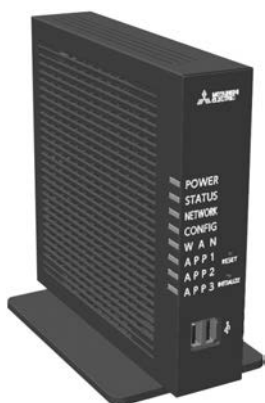


図1. 温度拡張型の本体

では、温度差によって発生する空気自然対流によって基板上の部品が冷却される。平置き設置では、機器自体や機器内部の基板が自然対流を妨げるため、放熱の効率が大幅に低下する。スタンド設置や壁掛け設置に対し、平置き設置では機器内部の温度が10℃以上上昇することを予想し、動作温度上限の15℃上昇と合わせて、25℃の温度上昇に耐え得る放熱構造の設計が課題であった。

3.2.2 放熱構造の設計

温度拡張型の放熱構造を図2に示す。大きなスペースが確保可能な基板上側には、高効率に放熱が可能な放熱フィンを用いた。スペースの限られている基板下側には、放熱フィンと比較して放熱効率は落ちるが、薄型化、軽量化が可能で、

低コストな熱拡散板を採用した。これらの構造によって、放熱性を確保しつつ質量増加抑制とコスト低減を図った。また、筐体(きょうたい)の開口穴の面積を増やし、基板下側からの吸気と基板上側への排気を効率化した。

基板上の部品は、それぞれ発熱量と上限温度が異なるため、各部品の最適な放熱経路を選定した。上限温度の低いメモリIC(SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory)、フラッシュメモリ)は、発熱量の大きいSoC(System on a Chip)、3G通信モジュール、L2SW(Layer2 SWitch) ICからの影響を避けるため、吸気口に近い熱拡散板へ放熱する経路を採用した。SoC、3G通信モジュール、L2SW ICから発生する熱は、放熱フィンを介して放熱する経路とし、基板全体の温度を低減した。

これらの構造を基本構造とし、熱流体シミュレーションで最適な形状パラメータを検討した。熱拡散板のサイズ、厚み、開口穴サイズと、放熱フィンのサイズ、羽の枚数、厚みをパラメータとして変化させ、部品の上限温度を満足する形状を採用した。熱流体シミュレーションでの機

表2. 温度拡張型の主要諸元

項目	仕様		
システム	CPU	ARM Cortex-A9×2, 900MHz	
	メインメモリ	512MB	
	フラッシュメモリ	256MB	
WAN	ポート種別	100BASE-TX/1000BASE-T	
	コネクタ/ポート数	RJ45/1ポート(速度設定:自動) MDI/MDI-X自動検出	
LAN	ポート種別	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T	
	コネクタ/ポート数	RJ45/4ポート(速度設定:自動) MDI/MDI-X自動検出	
無線WAN(内蔵)	対応規格	3G	
	コネクタ/ポート数	SMA/1ポート(アンテナ外付け), miniSIM/1ポート	
無線LAN	対応規格	IEEE802.11b/g/n 2.4GHz	
	アンテナ数	1×1 SISO(アンテナ内蔵)	
USB	ポート種別	USB2.0	
	コネクタ/ポート数	Type A/2ポート	
ストレージ	ポート種別	SDカード(SDHC)	
	コネクタ/ポート数	SD/1ポート	
ブロードバンドルータ機能	対応回線種別	有線WAN: IPoE, PPPoE, 無線WAN: PPP	
	ルーティング変換, プロキシ		IPv4/IPv6ルーティング
			DNSプロキシ
			動的・静的NAPT, 静的NAT
			パケットフィルタリング
	VPN	IPv4 IPsec, L2TPv2 over IPsec	
	無線LAN AP	WPS2.0対応	
アドレス配布	DHCPサーバ		
アプリケーションサーバ	Java ^(注6) 仮想マシン	Java8	
	OSGi ^(注7) フレームワーク	OSGi R4.2準拠	
クラウドサービス	対応クラウドサービス	Microsoft Azure ^(注8) , ほか順次追加予定	
対応IoTプロトコル	WAN(クラウド)側	HTTP(S), MQTT, AMQP, (今後対応予定) OPC-UA	
	LAN(収容機器)側	Modbus/LAN, Modbus/シリアル, Echonet Lite, SLMP, BACNet	
セキュリティ	セキュアブート	OS改ざん防止	
	EDSA認証	FSAレベル1相当	
保守機能	ログ管理	通信ログ, 装置ログ, 装置起動情報	
	遠隔保守	Web-GUIによる遠隔操作, TR-069サーバ対応	
構造	筐体寸法	40(W)×173(D)×168(H)(mm)(突起含まず)	
	設置形態	スタンド, 壁掛け, 平置き	
	質量	1kg以下(ACアダプタ含まず)	
環境	動作温度	0~55℃	
	電波障害規格	VCCIクラスB	
電源	電源	ACアダプタ, AC100~240V, 50/60Hz	
	消費電力	18W以下	

RJ45: Registered Jack 45, MDI: Medium Dependent Interface, MDI-X: MDI Crossover, SIM: Subscriber Identity Module, SISO: Single Input Single Output, SDHC: SD High Capacity, IPoE: Internet Protocol over Ethernet, PPPoE: Point to Point Protocol over Ethernet, PPP: Point to Point Protocol, NAPT: Network Address Port Translation, NAT: Network Address Translation, VPN: Virtual Private Network, L2TP: Layer2 Tunneling Protocol, AP: Access Point, WPS: WiFi Protected Setup, DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol, OS: Operating System, EDSA: Embedded Device Security Assurance, FSA: Functional Security Assessment, GUI: Graphical User Interface, VCCI: Voluntary Control Council for Interference by information technology equipment

(注6) Javaは、Oracle Corp.の登録商標である。
 (注7) OSGiは、OSGi Allianceの登録商標である。
 (注8) Microsoft Azureは、Microsoft Corp.の登録商標である。

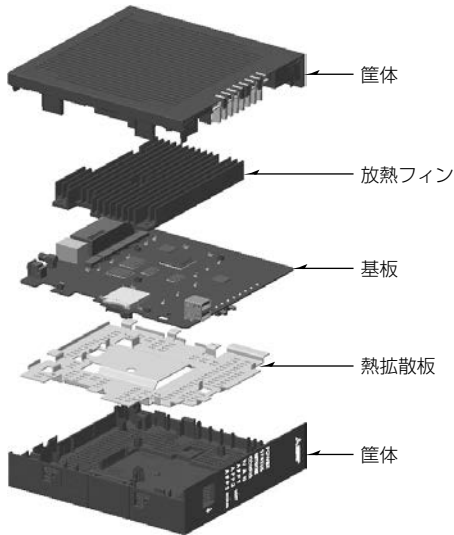


図2. 放熱構造

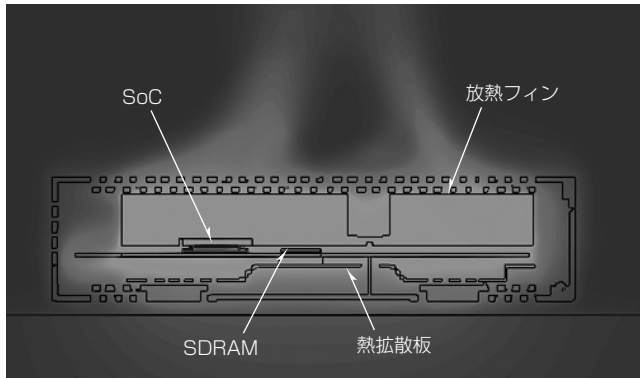


図3. 熱流体シミュレーションによる温度分布解析例

器内部の温度分布解析例を図3に示す。

3.2.3 試作機での温度確認

各 부품の熱流体シミュレーションによる表面温度解析結果と、試作機での部品表面温度測定結果を表3に示す。解析結果と測定結果の差異は2.7℃以内であり、設計時に目標値としている最大5℃の差異範囲内であることを確認した。また、測定結果は上限温度を下回っており、十分な放熱性を確保していることを確認した。

3.2.4 放熱部品追加による無線LANへの影響確認

放熱フィンや熱拡散板は金属部品であるため、基板上の部品から発生するノイズを伝搬する。伝搬したノイズが無線通信アンテナに放射されると、無線通信へ影響を及ぼすことがある。温度拡張型では、アンテナを内蔵している無線LAN通信への影響が懸念される。

そのため放熱構造検討と並行して、基板上の部品をノイズ源とした、放熱フィン及び熱拡散板によるノイズ伝搬を電磁界解析で確認した。解析例を図4に示す。放熱フィンと基板間に挟まれている空間ではノイズレベルは大きいですが、放熱フィンの外側に配置したアンテナへのノイズ放射レベルは-100dBm以下であった。無線LANに要求される最小受信感度-82dBmに対し、10dB以上小さく影響がない

表3. 部品表面温度の解析結果と試作機測定結果(55℃環境)

部品名	上限温度	解析結果	測定結果
SoC	123.1℃	98.1℃	95.4℃
L2SW IC	112.3℃	96.9℃	97.3℃
SDRAM	95.0℃	90.9℃	91.4℃
フラッシュメモリ	90.0℃	86.8℃	86.3℃

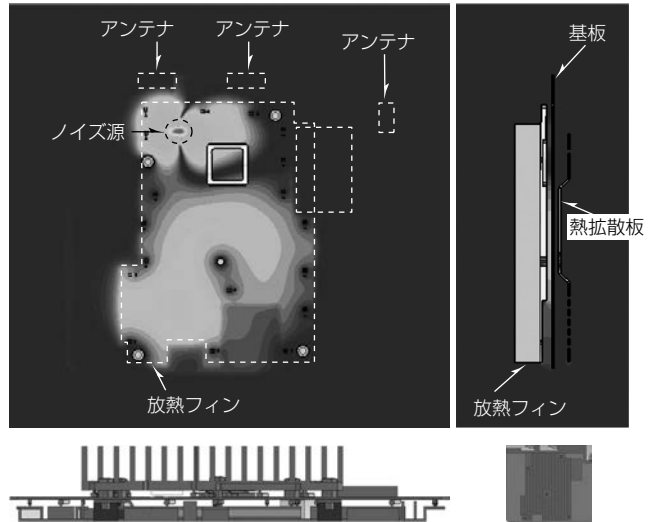


図4. 電磁界解析例

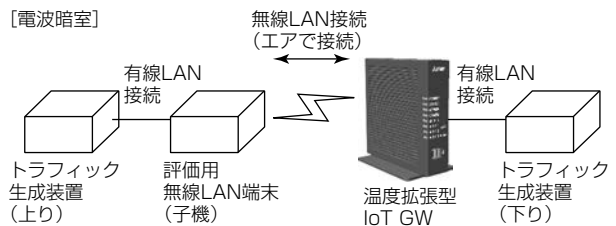
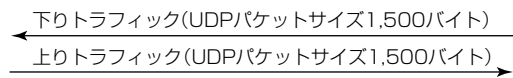


図5. 無線LANのスループット測定系

表4. 無線LANスループット測定結果

放熱フィン熱拡散板	トラフィック方向	スループット
あり	上り	130Mbps
	下り	130Mbps
なし	上り	130Mbps
	下り	130Mbps

と判断した。

また、実機でも無線LANのスループットを測定した。無線LANのスループット測定系を図5に示す。電波暗室で、温度拡張型と無線LAN端末(子機)をエアで接続し、1,500バイトのUDP(User Datagram Protocol)パケットをデータ送信側の温度拡張型(下り時)、又は子機(上り時)に入力し、スループットを測定した。子機には、温度拡張型と同等性能のものを使用した。スループット測定結果を表4に示す。IEEE802.11nの最大理論伝送速度150Mbpsに対して、放熱フィン及び熱拡散板の有無にかかわらず130Mbpsのスループットを計測し、金属部品による影響がないことを確認した。

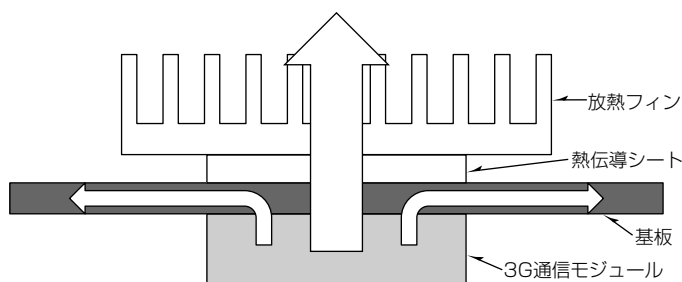


図6. 3G通信モジュールの放熱構造と熱の流れ

3.3 無線WAN通信機能内蔵

無線WAN通信機能を実現するため、3G通信モジュールを内蔵した。一般的に無線WAN通信用モジュールを内蔵する際には、miniPCIeやM.2等の規格に対応したカード型モジュール(以下“カード型”という。)を使用して、モジュール有無やモジュール変更を容易にすることが多い。しかし温度拡張型では、放熱構造の簡素化、実装面積削減と低コスト化を図るため、基板に直接はんだ付けするオンボード型モジュール(以下“オンボード型”という。)を採用した。

(1) 放熱構造の簡素化

カード型では構造が複雑になり、動作温度55℃に耐え得る十分な放熱ができない可能性がある。オンボード型を採用し、基板への熱拡散と熱伝導シートを介した放熱フィンへの放熱によって、放熱性能を確保した(図6)。

(2) 実装面積削減と低コスト化

カード型は、モジュール本体に加えてモジュール挿入用コネクタも必要であり、基板面積の限られる温度拡張型では実装が困難である。オンボード型を用いることで、実装面積を約21cm²から約6.25cm²に削減した。

またカード型は、モジュールと基板間の高周波信号伝送のため同軸ケーブルを接続する。オンボード型は、直接基板パターンを接続するため、組立て性向上及びコスト低減に寄与している(図7)。

3.4 SDカード対応機能搭載

SDカードには、IoT GWが配下機器から収集したデータやアプリケーションのログを、一時的に保存することを想定している。

パソコン等であれば、SDカードからの応答が停止してしまった場合、SDカードの挿抜によって対処可能であるが、遠隔地に設置されるIoT GWでは挿抜による対処は困難である。

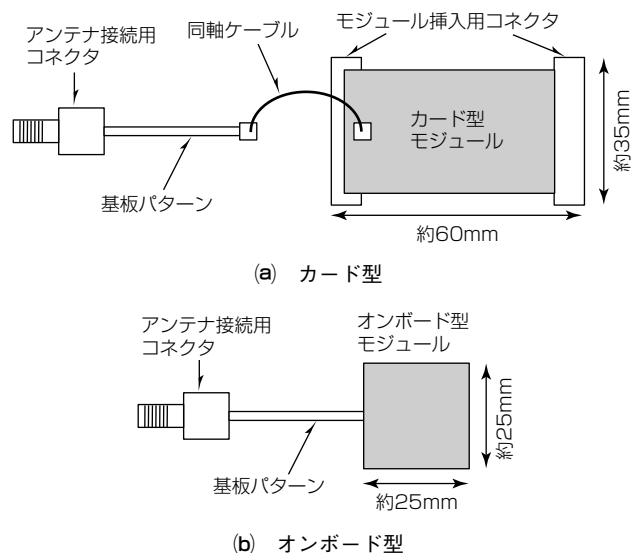


図7. モジュールによる構成と実装面積の違い

遠隔地でも対処可能とする仕組みとして、SDカードをハードウェアリセットするAPI(Application Programming Interface)を作成した。このAPIをアプリケーションから使用することで、自律的に挿抜相当の対処が可能である。

4. む す び

温度拡張型IoT GW開発での、放熱設計、無線WAN通信機能内蔵、SDカード対応機能搭載について述べた。温度拡張型IoT GWの製品化によって、IoT GWを適用可能なIoTシステムを拡充できる。

今後もIoT GWの機能充実化を図り、多くのシステム事業分野でIoTによる新たな付加価値を創出し、スマート社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 別所雄三, ほか: クラウドサービスを支える通信ゲートウェイ技術, 三菱電機技報, 87, No.5, 271~276 (2013)
- (2) 西尾俊介, ほか: HEMS対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, 88, No.6, 337~342 (2014)
- (3) 岡 稔久, ほか: 三菱通信ゲートウェイ“smartstar”, 三菱電機技報, 89, No.6, 338~342 (2015)
- (4) 大野聖信, ほか: IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, 91, No.6, 325~328 (2017)