世界最小の基板占有面積を実現したスロットアンテナ・シールド搭載Bluetooth® Low Energyモジュール

World's Smallest Board Footprint Bluetooth® Low Energy Module with Slot Antenna on Shielded Package

山田　啓壽 YAMADA Keiju　　本間　亨 HOMMA Toru　　渋谷　隆司 SHIBUYA Takashi

IoT（Internet of Things）機器などの無線通信用に，Bluetooth® Low Energyモジュールが広く使われている。無線認証取得済みのアンテナ一体型無線モジュールは，無線の専門知識がなくても導入しやすいが，アンテナとプリント基板の配線の干渉を回避するための基板占有面積が広く，最終製品の大型化の要因となっていた。

東芝は，シールド上にスロットアンテナを配置する独自設計技術SASP（Slot Antenna on Shielded Package）を適用して小型化したBluetooth® Low Energyモジュール（以下，SASPモジュールと呼ぶ）を開発し，2021年からサンプル提供してきた。2023年にはアンテナ設計技術の向上で更に小型化し，世界最小(注1)の基板占有面積35 mm^{2}を実現した。SASPモジュールは配線禁止エリアも狭く，配線や部品配置の自由度も高いため，ウエアラブル機器やヒューマンインターフェース機器，産業向けセンサー機器に適しており，オープンなソフトウェア開発環境を活用して開発できる。

Bluetooth® Low Energy modules can be used in a wide variety of applications including wireless communication functions for Internet of Things (IoT) devices. Antenna-integrated wireless modules certified by radio laws in various countries can be easily introduced in many different devices without the need for expertise in wireless technologies. The footprint of devices incorporating these modules, however, tends to increase due to a larger printed circuit board (PCB) to suppress electromagnetic interference between the antenna and surrounding wiring patterns on the PCB, resulting in larger end products.

Toshiba Corporation has found a solution by developing a proprietary slot antenna on shielded package technology, called SASP. and has provided samples of compact Bluetooth® Low Energy modules with SASP (hereafter referred to as "SASP module") since 2021. Furthermore, we developed a new SASP module that achieves the world's smallest board footprint of 35 mm^2 with an improved antenna design in 2023. This module is suitable for wearable devices, human interface devices, industrial sensor devices, etc. due to narrow wiring-prohibited areas as well as a highly flexible wiring route and component layout. It can also provide users with open software development environments to enable efficient design of various devices.

1. まえがき

スマートフォンやPC（パソコン）などのIT（情報技術）機器は，今や人々の生活に欠かせない機器となり，それらと無線で接続して使用する周辺機器も，一人で複数台所有されるようになってきた。低消費電力で駆動するBluetooth®は，マウス・キーボード・イヤホンだけではなく，近年はスマートロックや，ヘルスケア機器，インフラ向けセンサー機器，紛失防止タグなどへの利用も拡大し，年成長率9％で出荷台数が増えている[1]。それに伴い，電気機器メーカーだけでなく，様々な業種からのBluetooth®搭載機器の販売が増加している。

一方で，Bluetooth®機器を新規に開発する場合は，専門の技術者がアンテナや，シールド，回路などを設計し，試作・評価後に各国電波法に基づく無線認証及びBluetooth® SIG認証を取得し，更に電波法に準拠した品質管理をする必要もある。これらの開発や製造の負荷を軽減するためには，アンテナとシールドを搭載した無線認証取得済みのBluetooth®モジュールを用いることが有用である。しかし，従来のアンテナ・シールド付きのモジュールは，モジュール本体の面積が広いことや，プリント基板（PCB： Printed Circuit Board）上の金属との干渉を回避するために部品や配線を置けないエリアが広いことから，結果としてPCBの占有面積が広くなり，搭載した機器が大型化する原因となっていた。

東芝はこれまでに，フラッシュメモリー向けのシールド設計・製造技術を開発し，スマートフォンの薄型化に貢献した[2],[3]。また，小型のスロットアンテナとシールドを搭載したミリ波帯向けのICを開発した[4]。更に，これらの技術を統合して，独自のアンテナ・シールド設計技術SASPを開発した。SASPは，アンテナをシールド上に構成する技術であり，小型化に貢献できる。

（注1） 2023年11月現在，アンテナ・シールド付きで水晶振動子を2個内蔵したBluetooth® Low Energyモジュールとして，当社調べ。

このSASP技術を用いて，外形寸法を小さくしたBluetooth® Low Energy対応SASPモジュールを開発した。SASPモジュールの市場価値を検証するために，2021年からサンプルを提供し，製品に組み込む際の有効性を確認してきた[5]。SASPモジュールは，外形寸法のほかにPCB上の配線禁止エリアが極小で，基板占有面積が小さいことが特長であり，2023年に世界最小(注1)の基板占有面積を実現した。また，高密度実装技術や小型モジュール製造に豊富な実績を持つFDK（株）とライセンス契約を締結した。2024年春に，FDK（株）からHY0020として量産開始された[6]。

ここでは，SASPモジュールの技術・特長，並びにその活用例について述べる。加えて，ソフトウェア開発や，評価基板などについても述べる。

2. SASPモジュール（HY0020）の特長

2.1 SASPモジュールの構造

図1に，SASPモジュールの写真を示す。ミリ波帯よりも数十倍長いアンテナを，回路動作や電磁ノイズ抑制とバランスを取りながら配置し，かつ既存のシールドパッケージの製造方法を利用することで，生産性の良い超小型のSASPモジュールを実現した。外形寸法は3.5×10×1.0 mmである。モジュール上面には印字のほかに，鍵型のスロットアンテナがある。スロットアンテナはシールドを切削することで形成するため，その部分は下部の封止樹脂が露出している。

図2に，従来のアンテナ付きモジュールとSASPモジュールの構造を示す。従来のアンテナ付きモジュールは，線状アンテナを折り曲げてモジュール基板上のシールドの外に配置する場合が多く，結果としてモジュールが大型化する傾向があった。一方SASPモジュールでは，アンテナの大部分をモジュール上面のシールドに配置するため，小型化できる。

図3に，SASPモジュールのブロック図を示す。SASPモジュールにはBluetooth® Low Energyチップとして，Nordic Semiconductor社製のnRF52832を内蔵している。nRF52832は，無線回路や，Arm® Cortex®-M4F，64 kバイトのRAM，512 kバイトのフラッシュメモリーを搭載している。SASPモジュールはほかに，32 MHzの水晶振動子，低消費電力化に寄与するDC（直流）–DCコンバーターのインダクター・キャパシター，及び32.768 kHzの水晶振動子を，内蔵している。小型モジュールには電源回路や水晶振動子を内蔵しない場合もあるが，SASPモジュールではそれらも内蔵しており，電池をつなぐだけで動作可能である。

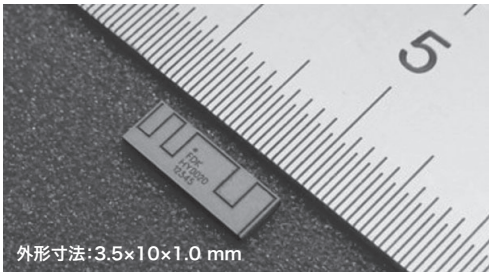


図1. SASPモジュール
スロットアンテナをシールド上に配置して小型化した。
SASP module

2.2 PCBの配線禁止エリアと占有面積

図4に，PCB上にモジュールを搭載した場合の基板占有面積の比較を示す。従来のアンテナ付きモジュールでは，金属とアンテナを3 ～ 10 mm離して配置する場合が多い（図4(a)）。小型のアンテナ付きモジュールの場合，モ

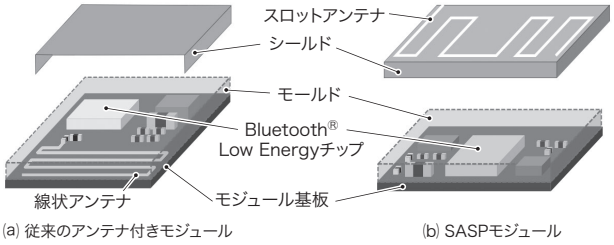


図2. アンテナ付きモジュールの構造の比較
従来のアンテナ付きモジュールは，モジュール基板上に線状アンテナを配置している。一方，SASPモジュールではシールド上にアンテナを配置するため，小型化できる。
Structure of SASP module employing slot antenna installed on surface of shielded package compared with conventional antenna-integrated module

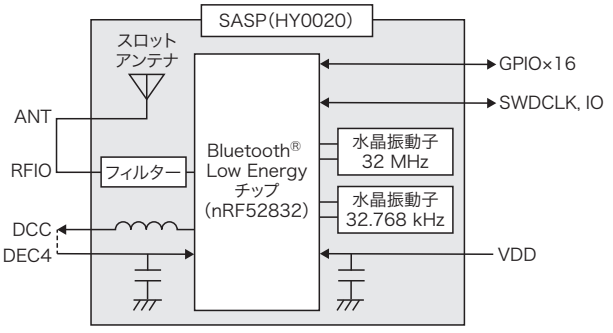
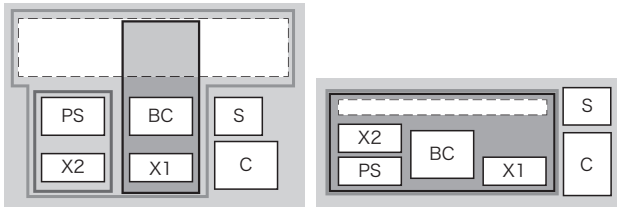


図3. SASPモジュールのブロック図
SASPモジュールは，アンテナのほかに2種の水晶振動子，及びDC–DCコンバーターも内蔵しているため，直流電源端子（VDD）に1.7 ～ 3.6 Vの電池などの電源を接続するだけで低消費電力のBluetooth® Low Energy通信が可能である。
Block diagram of SASP module



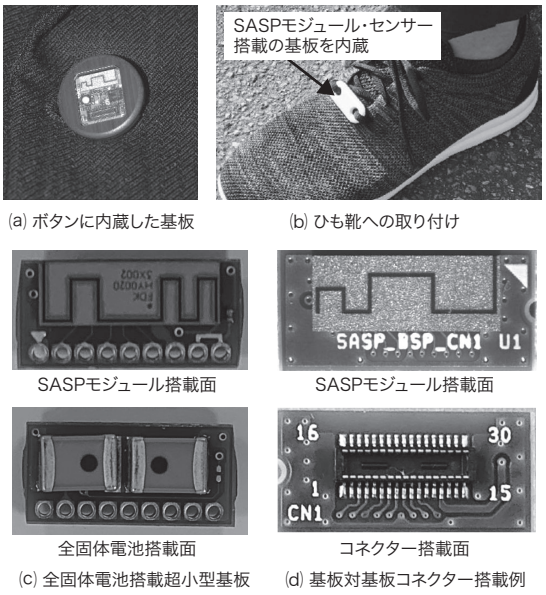
(a) 従来のアンテナ付きモジュール　(b) SASPモジュール

〔 〕配線禁止エリア　モジュール外形　基板占有エリア
PS：電源回路　X：水晶振動子　BC：Bluetooth® Low Energyチップ
S　：センサー　C：コネクター

図4. 基板占有面積の比較

従来のアンテナ付きモジュールは配線禁止エリアが外にはみ出すため，基板占有面積が広くなる。SASPモジュールは配線禁止エリアがモジュール直下だけに限定されるため，基板占有面積が小さい。

Comparison of occupied areas on PCBs of conventional antenna-integrated module and SASP module



(a) ボタンに内蔵した基板　(b) ひも靴への取り付け

SASPモジュール搭載面　SASPモジュール搭載面

全固体電池搭載面　コネクター搭載面

(c) 全固体電池搭載超小型基板　(d) 基板対基板コネクター搭載例

図5. SASPモジュール搭載機器の試作例

SASPモジュールは，ボタンやひも靴用のアタッチメントにも内蔵搭載できるサイズであるため，普段使いの衣服などもIoT化が可能となる。

Examples of prototype devices equipped with SASP modules

ジュール外形からはみ出る配線禁止エリアは，モジュール外形の面積と同程度となる。PCBの設計ツールで部品登録をする際は，配線禁止エリアも部品のエリアとして登録するため，実質の基板占有面積はモジュール外形よりも広くなる。一方で，SASPモジュールは，アンテナ近傍に配置したGND（接地）配線により，配線や部品との相互の干渉を抑制できるため，配線禁止エリアをモジュール外形の直下の一部分だけに限定できる（図4(b)）。その結果，配線禁止エリアを含む部品の占有エリアはモジュール外形と同一となり，基板占有面積を世界最小の35 mm^{2}とすることができた。また，配線禁止エリア以外の部分には金属も配置できるため，例えば基板裏面にコイン電池や，センサー類，コネクター類などを置くことも可能であり，設計の自由度が高まる。

3. SASPモジュールの活用

SASPモジュールは電池などの部品を近くに配置してもアンテナ性能がほぼ劣化しない。また，Bluetooth® Low Energyの低消費電力を生かし，小型電池を搭載して，直径20 mmの1円玉より小さい基板を実現可能である。加えて，オープンソースソフトウェアの利用もできる。

ここでは，SASPモジュールを適用したハードウェアの試作例や，ソフトウェア開発を手軽に行うための，Arduino互換SASP評価基板の試作例について述べる。

3.1 SASPモジュール試作例

ここでは第2章で述べたSASPモジュール（HY0020）に加え，サンプル提供していたSASPモジュールの試作例も含める。前者は後者より小型なため，この章で示す試作例は，どちらのSASPモジュールでも実現可能である。

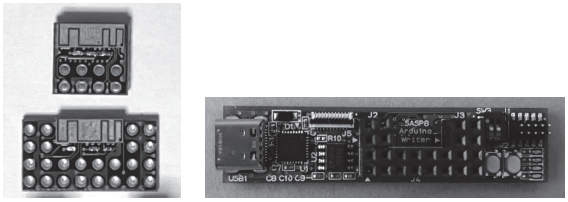
図5(a)に，スーツのボタンにSASPモジュール搭載基板を内蔵した試作機を示す。基板にはSASPモジュールのほかに，加速度・地磁気センサー，デバッグ・充電用のコネクター，リセットスイッチ，及び裏面にコインサイズの電池を搭載している。SASPモジュール直下の基板裏に電池を搭載したことで，基板面積は13×14 mmと小型化できた。デモンストレーションでは，加速度や地磁気のデータをスマートフォンに転送し，スーツ着用者の姿勢・行動分析に活用できることを示した。また，同じ基板をひも靴のアタッチメントに内蔵すれば，足の姿勢を知ることも可能である（図5(b)）。

図5(c)は，SASPモジュールとFDK社製の全固体電池サンプルを搭載したPCBの試作機である。面積は12.5×6.0 mm，SASPモジュールと電池を含めた基板厚さは3.2 mmであり，1円玉の約1/2の体積となる。この基板とスマートフォンアプリケーションを連動して，ビーコンによる簡易位置検出ができる。

センサー機器では，オプションとしてBluetooth® Low Energyモジュールを取り付け可能とする場合や，Bluetooth®のバージョン更新で新しいものに交換する場合がある。その場合，モジュールと基板対基板コネクターを一つのPCBに搭載する方法が有用である。SASPモジュールは，直下に部品を実装できるので，基板対基板コネクターを搭載したPCBのプロトタイプを14×6.5 mmの面積で実現できた（図5(d)）。

3.2 ソフトウェア開発環境

ワイヤレス機器用のファームウェアを開発する環境として，



(a) コアボード　　(b) ライターボード

図6. Arduinoソフトウェアを実行可能なSASPモジュール評価基板
SASPモジュールを搭載した超小型のコアボード(8ピン，24ピンの2種類)をライターボードに接続し，PCからUSB接続で，プログラム書き込み及びデバッグを実行可能である。
SASP module evaluation boards capable of running Arduino software

Nordic Semiconductor社からソフトウェア開発キットが提供されており，様々な製品で使われている[7]。また，より手軽に豊富なセンサー群との組み合わせを試すための開発環境として，Arduinoが広く使われている[8]。Bluetooth® Low Energyをデータ通信に使う典型的な事例として，モーションや環境などのセンサー情報をワイヤレスで送信する場合が考えられる。

そこで，SASPモジュールを搭載したArduinoソフトウェアを実行可能な基板を試作した(**図6**)。図6(a)上に示す8ピンのコアボードは，11×11 mmと超小型であるため，省スペースでの試作検証に適している。その下に示した24ピンコアボードは面積が20×11 mmであり，より多くの入出力インターフェースに対応している。ファームウェア書き込み及びデバッグは，図6(b)に示すUART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) -USB (Universal Serial Bus) 変換ICやUSBコネクターを搭載したライターボードを経由して行う。

ソフトウェア開発では，Bluetooth® Low Energy機能のサンプルプログラムを参照し，試作デバイスに合わせて設定を変更する。センサー搭載モジュールをI2C (Inter-Integrated Circuit)，SPI (Serial Peripheral Interface) などのインターフェースで接続し，センサー製品提供元のArduinoライブラリーを用いてセンサーデータを読み取り，Bluetooth® Low Energyで送信する。これらのサンプルプログラムを利用することで，SASPモジュールのユーザーが異なるセンサーを使いたい場合も，短時間でソフトウェアを開発できる。

4. あとがき

IoTやAIのためのセンサーデータ収集の信号伝送に適したSASPモジュールの特長と活用事例について述べた。SASPモジュールは，スロットアンテナを用いた独自のモジュール構造により外形寸法が小さく，配線禁止エリアが狭いので，基板占有面積が世界最小である。また，モジュール周囲や基板裏への電池などの部品搭載も可能であるため，超小型基板の設計も容易である。更に，センサーとして活用する際のサンプルプログラムも多く公開されているため，短時間でソフトウェアを開発できる。

SASPモジュールや小型電池を用いれば，様々な機器をIoT化することも可能である。今後，デザイン性を重視する衣服などの用途や，既存品の筐体(きょうたい)を変えないでIoT化する用途などへの適用を進めていく。

文　献

(1) Bluetooth SIG, Inc. 2023 Bluetooth® Market Update. <https://www.bluetooth.com/2023-market-update/>, (Accessed 2023-12-27).
(2) 石田正明，ほか．半導体パッケージでの電磁波シールド技術．東芝レビュー．2012，**67**，2，p.7–10.
(3) 山崎　尚，ほか．半導体パッケージにおけるスパッタ成膜法を適用した電磁波シールド膜形成技術．東芝レビュー．2016，**71**，6，p.16–19. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2016/06/71_06pdf/a05.pdf>，(参照 2023-12-27).
(4) 橋本　紘，ほか．BGAパッケージを被覆するシールド上に形成したミリ波帯スロットアンテナ．電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集．2012，B-1-122.
(5) 東芝．“世界最小Bluetooth®モジュールのサンプル出荷を開始”．ニュースリリース．<https://www.global.toshiba/jp/news/corporate/2021/01/pr1401.html>，(参照 2023-12-27).
(6) FDK．“Bluetooth® Low Energyモジュール HY0020”．<https://www.fdk.co.jp/cyber-j/electronic_components/module/ble.html>，(参照 2023-12-27).
(7) Nordic Semiconductor ASA. "nRF Connect SDK". <https://www.nordicsemi.com/Products/Development-software/nRF-Connect-SDK>, (accessed 2023-12-27).
(8) Arduino, Homepage. <https://www.arduino.cc/>, (accessed 2023-12-27).

・Bluetooth®は，Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。
・Arduinoは，ARDUINO SAの登録商標。



山田　啓壽　YAMADA Keiju, Ph.D.
Nextビジネス開発部 新規事業推進室
博士(工学)
New Business Development Office



本間　　亨　HOMMA Toru
Nextビジネス開発部 新規事業推進室
New Business Development Office



渋谷　隆司　SHIBUYA Takashi
Nextビジネス開発部 新規事業推進室
New Business Development Office