

# IoT時代を支える国際無線通信規格 Wi-SUN



京都大学 大学院情報学研究所 教授 **原田 博司** (はらだ ひろし)

## 1. はじめに

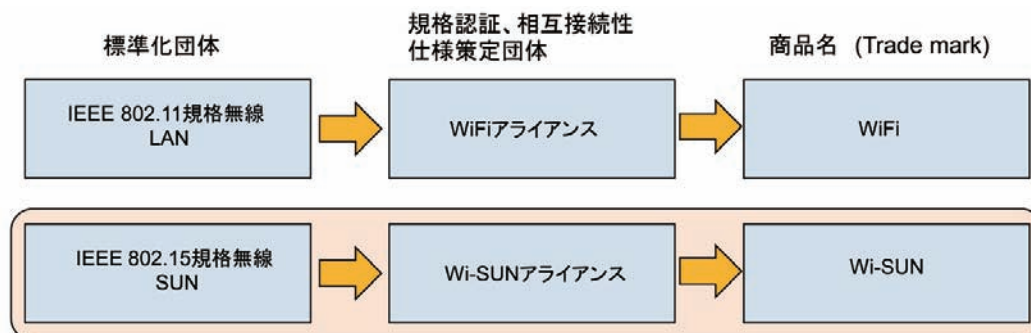
コンピュータ等の情報機器だけでなく、すべての“モノ”に通信機能をもたせ、インターネット等により相互に接続させ、計測、制御、認識を行わせる“モノ”のインターネット (Internet of Things、以下IoTとする) が現実のものになりつつある。

このIoTの実現のためには国際標準化された無線通信技術が必要になる。これは標準化されることにより機器のマルチベンダ化が実現され、結果として機器の低廉化につながるためである。しかし、マルチベンダ化されるとベンダ間での相互接続性が必要になる。現在、IoTに関する多くの標準化があるが、それらは機能ごとに独立して標準化が行われている。例えば、コンピュータネットワークの標準化を推進するIEEE 802委員会では、主にOSI参照モデルにおける物理層 (第一層) とMAC層に代表されるデータリンク層 (第二層) の標準化が制定されている。一方、インターネット技術の標準化を推進するIETFでは、主にOSI参照モデルにおけるIPに代表されるネットワーク層 (第三層) 以上の層の標準化が行われている。しかし、実際の利用モデルは、OSI参照モデルのすべての層を含むため、誰かが各種団体に分散した標準化の統合を行う必要性がある。さらに、この統合した標準を元に製造された機器がベンダ間で相互に接続できるよう仕様を制定する必要性がある。これらの統合化された標準仕様及び相互接続のための試験仕様を制定するのが、いわゆる業界標準化団体“アライアンス”の仕事である。

本稿では、IEEE、IETF等の国際標準化団体とアライアンスの関係を述べ、アライアンスの位置付けを明確化する。次にIoTを実現する一つのアライアンスとして、“Wi-SUNアライアンス<sup>[1]</sup>”及び同アライアンスが制定する相互接続可能な各種アプリケーション向け技術仕様“Wi-SUNプロファイル”の概要を述べる。そしてWi-SUNプロファイルの例としてWi-SUN HAN (Home Area Network) とWi-SUN FAN (Field Area Network) を紹介し、今後の方向性を述べる。

## 2. 国際標準化団体とアライアンスの関係

図1に国際標準化団体と規格認証、相互接続性認証団体であるアライアンス及びその商品名との関係をIEEE 802を例に示す。例えば、無線LAN (Local Area Network) の場合であると、現在、主にその標準化がIEEE 802.11で行われている。しかしIEEE 802.11では、前述のように主に物理層とデータリンク層の標準化であるために、無線LANをインターネットに接続させるために、また、各種アプリケーションに対応させるためにIETFで標準化されているOSI参照モデルのネットワーク層以上の層、及びセキュリティ、認証等の機能追加を必要に応じて行う必要性がある。現在、この機能追加を行い、各種アプリケーションに合わせた規格を作るのがWiFiアライアンスである。そして各ベンダはアライアンスの規格に合った製品を製造し、アライアンスの認証を受け、商標名WiFi<sup>TM</sup>として実際に市場に出る。



■ 図1. 国際標準化団体と規格認証、相互接続性認証団体であるアライアンス及びその商品名との関係

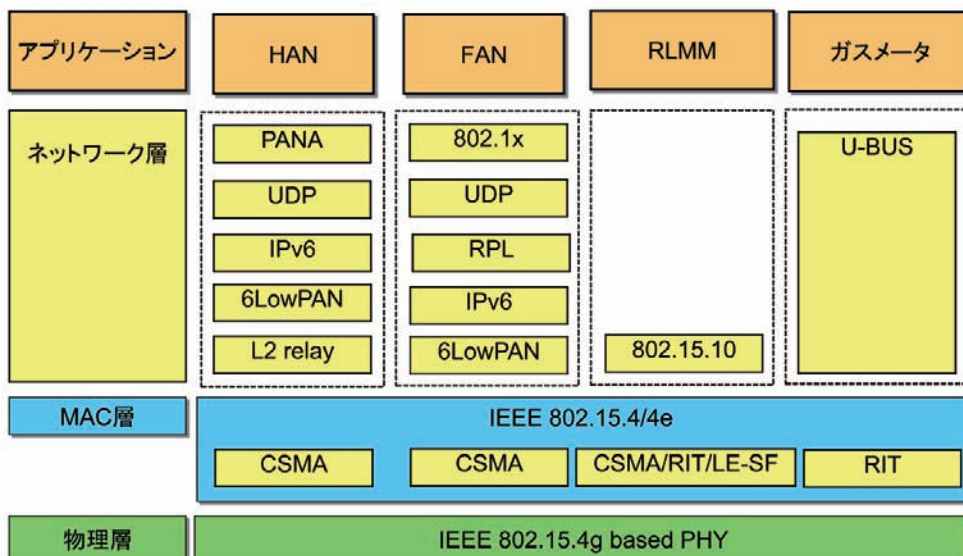
同様にIoT、スマートメータリングに利用される無線PAN (Personal Area Network) の場合は、現在、主にIEEE 802.15.4で標準化が行われている。特に屋外利用も想定し、数10 kbps～数100 kbpsの伝送速度ながら1km程度の伝送距離を実現するIEEE 802.15.4gがIoT用の無線PAN規格の物理層の代表である<sup>[2][3]</sup>。また、データリンク層はIEEE 802.15.4及び15.4e規格で制定されている。これもIEEE 802.11と同様に各種アプリケーションに対応させるためにIEEE 802.15.4.15.4g、15.4e規格に加え、IETFで標準化が行われているネットワーク層以上の各種機能、セキュリティ、認証が必要に応じて追加される。この仕様を制定する機関がWi-SUNアライアンスである<sup>[1]</sup>。

Wi-SUNアライアンスは、IEEE 802.15.4gの標準化が終了した2012年に日本で発足し、現在は非営利団体として米国に本拠地をおいて活動している。加入企業数は2016年12月現在110社を超える。同アライアンスでは技術仕様の制定以外に、規格認証及び相互接続性認証のための試験仕様も制定する。そして各ベンダはアライアンスの規格にあった製品を製造し、製造後アライアンスが指定するテストラボにて規格認証及び相互接続性認証試験を受検し、その結果、試験に合格すれば、アライアンスの認証を受け、商標名Wi-SUN™として実際に市場に出る。現在、IEEE 802の無線通信の標準化文書の中身は、機器製造時にかならず搭載しないとイケない強制規格（マンドトリ規格）以外に多くの任意規格（オプション規格）がある。アライアンスの仕事は、この多くの任意規格の中から本当にアプリ

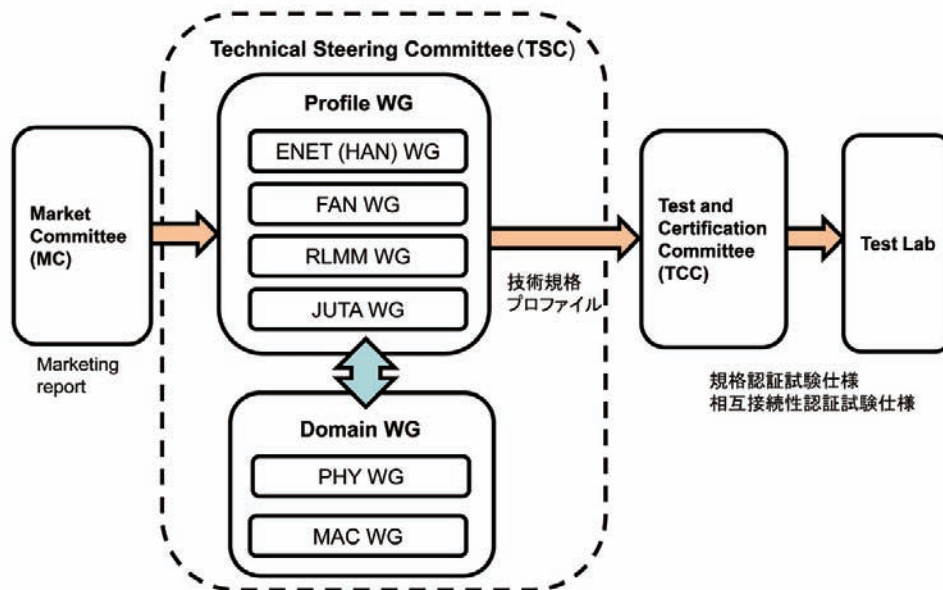
ケーション実現に必要な規格を抜き出すことにある。このためアライアンスでの標準化は第二の国際標準化と言える。

### 3. Wi-SUNプロファイル

図2にWi-SUNアライアンスで制定している4つのアプリケーションに対する技術仕様（これをプロファイルと呼ぶ）を示す。Wi-SUNアライアンスは、図3に示すMarketing Committee (MC)、Technical Steering Committee (TSC)、Test and Certification Committee (TCC) という委員会で構成されている。MCは次の市場を開拓及びプレスリリース、展示等の広報活動等を行う。そして、次に標準化を行うアプリケーションに対する標準化項目を記載したMarket reportを発行する。このレポートを元に、TSCでは、Working Group (WG) を設置し、各アプリケーションを実現する技術規格“プロファイル”を制定する。その後、このプロファイルはTCCに送られ、規格認証試験仕様、相互接続性認証試験仕様が作られる。TSC内のWGには、各種アプリケーションを実現する仕様を策定するProfile WGと要素技術に関する仕様を策定するDomain WGがある。Profile WGとして後に詳解するHAN用の通信規格を制定するECHONET WG及びFAN WGがある。また、電池駆動等のIoT機器を駆動するための電源リソースが制限されている環境においてIoTシステムを実現するResource Limited Monitoring and Management (RLMM) WG、ガスメータ用の無線通信規格を策定するJUTA WGがある。



■図2. Wi-SUNアライアンスで制定しているプロファイル



■図3. Wi-SUNアライアンスの概要

また、Domain WGに関しては、物理層を検討するPHY WG、データリンク層を検討するMAC WGがある。

図2においてHANとFANの違いは、主たるアプリケーションの利用範囲が宅内か屋外かという違いである。共にOSI参照モデル第一層である物理層には表に示すIEEE 802.15.4gを、また第二層であるデータリンク層にはIEEE 802.15.4及び15.4eを用いる。また、共に第三層であるネットワーク層及び第四層であるトランスポート層には、IETFで標準化されているIPv6及びUDPがそれぞれ採用されている。また、比較的長いフレームであるIPv6を短いIEEE 802.15.4のフレームで伝送するために、データリンク層とネットワーク層の間にアダプテーション層を設ける。このアダプテーション層は、IPv6のヘッダ圧縮及びパケットのフラグメント伝送を行う。現在、HAN、FAN共にIETF標準である6LoWPANを用いている。加えてHAN、FAN共にマルチホップによる多段中継を行うことにより、通信距離の拡大をしている。

■表. IEEE 802.15.4gの日本における主要パラメータ

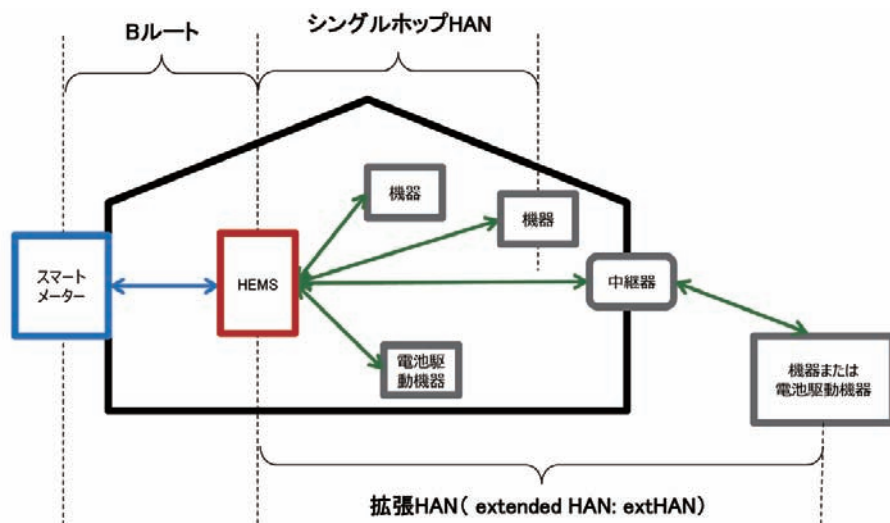
周波数 (日本)	920 MHz帯
送信電力	20 mW (免許不要)、250 mW (登録局)
主要変調方式	2GFSK
伝送速度	50 kbps、100 kbps、200 kbps
最大データ長	2047 octets
通信距離	約500 m

また、RLMMは主に農業、防災、ものづくり等の電源リソースが十分供給されない環境でのIoTを目指す。HAN、FANと同様に物理層、データリンク層はIEEE 802.15.4、15.4g及び15.4eを用いるが、HAN、FANと異なりネットワーク層はIPを使わないnon-IP型のIoTを目指している。マルチホップも第二層で行う（これをLayer 2 routing : L2Rと呼ぶ）。このRLMM WGで議論されているL2R方式のうち、標準化されているものとしてIEEE 802.15.10がある。

ガスメータ用Wi-SUNプロファイルは、東京ガス株式会社が主導的に導入を検討しているガスメータ用スマートメータリングシステムU-BUSをベースにしており、物理層はIEEE 802.15.4g、データリンク層はIEEE 802.15.4eで標準化されたRIT (Receiver Initiated Transmission) を採用している。Wi-SUNとして規格認証試験及び相互接続性認証試験を行い、認証するのはこの2つの層までであり、データリンク層より上の層は独自仕様になっており、その規格認証試験及び相互接続性認証試験は日本テレメタリング推進協議会 (Japan Utility Telemetry Association : JUTA) において行われる。

#### 4. Wi-SUN HANプロファイル

図4にWi-SUN HANで想定しているアプリケーションイメージを示す。HANは大きく2つに分けることができる。1つは次世代電力量計 (スマートメータ) と宅内エネルギー管理システム (Home Energy Management



■図4. Wi-SUN HANで想定しているアプリケーションイメージ

第7層	アプリケーション部	アプリケーション層 [ECHONET Lite]
第4-6層	Wi-SUN インタフェース部	Wi-SUN セキュリティ [PANA] (接続認証+暗号鍵配布)
		Wi-SUN トランスポート層 プロファイル [UDP]
第3層	Wi-SUN インタフェース部	Wi-SUN ネットワーク層 プロファイル [IPv6, ICMPv6]
		Wi-SUN アダプテーション層 プロファイル [6LoWPAN]
第2層	Wi-SUN MAC 部	Wi-SUN MAC層 プロファイル [IEEE 802.15.4/4e] (暗号化)
第1層	Wi-SUN 物理層部	Wi-SUN 物理層 プロファイル [IEEE 802.15.4g]

■図5. ブルート通信、シングルホップHAN及び拡張HAN用のプロファイルの基本構成

System : HEMS) との間の1対1の通信仕様である。これは電力会社においてはブルーート通信と呼ばれる。もう一つは、HEMSと宅内の家電 (エアコン等)、太陽電池、蓄電池等機器との間の通信仕様である。この通信仕様には、HEMSと機器間を1対多で接続するシングルホップHANと、エアコンの室外機との接続等を想定し、通信範囲を延長するリレー機能及び電池駆動の機器のように省電力を行うためにスリープモードに入る機器に対しても対応できる機能を搭載した拡張HAN (Extended HAN : extHAN) がある。

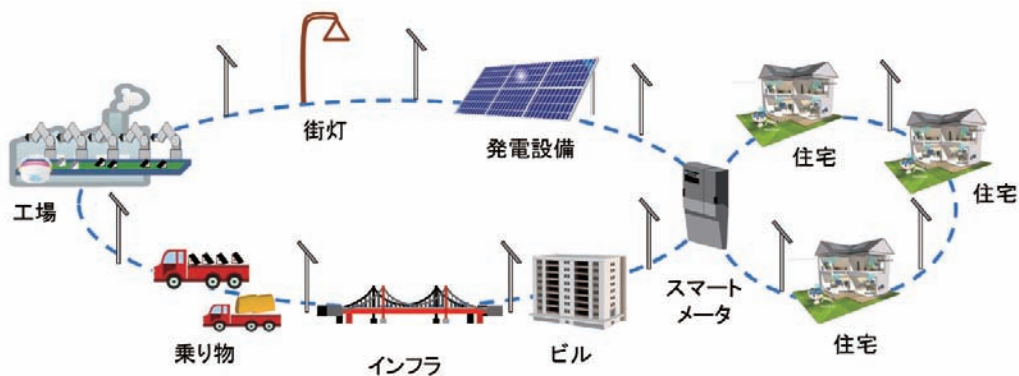
ブルーート通信、シングルホップHAN及び拡張HAN用のプロファイルの基本構成を図5に示す。このプロファイルの物理層及びデータリンク層は、IEEE 802.15.4、15.4g、15.4e標準規格から強制規格部分と選択されたオプション規格から構成される。アダプテーション層、ネットワーク層、トランスポート層はWi-SUNで独自にオープンな国際標準化を元に制定されており、それぞれIETF標準の

6LoWPAN、IPv6、TCP、UDP、PANAが採用されている。そしてブルーート、シングルホップHAN、拡張HAN共にエコーネットコンソーシアムが制定するECHONET Liteをアプリケーションとして動作させる。

## 5. Wi-SUN FANプロファイル

図6にWi-SUN FANで想定しているアプリケーションイメージを示す。Wi-SUN FANはスマートメータリング、配電自動化を実現するスマートグリッド及び、インフラ管理、高度道路交通システム、スマート照明等を想定している。これらのシステムにおいては、主に屋外設置されたセンサ、メータ、モニタ等で取得したデータをクラウドに伝送する。またクラウドから必要に応じてセンサ、メータ、モニタ等を制御する。

図7にWi-SUN FANプロファイルの基本構成を示す。このプロファイルの物理層及びデータリンク層は、IEEE



■ 図6. Wi-SUN FANで想定しているアプリケーションイメージ

第7層	アプリケーション部	アプリケーション層 [各種アプリケーション]
第4-6層	Wi-SUN インタフェース部	Wi-SUN セキュリティ [802.1x]
		Wi-SUN トランスポート層 プロファイル [TCP, UDP]
		Wi-SUN ネットワーク層 プロファイル [IPv6, ICMPv6] + Routing: RPL
第3層		Wi-SUN アダプテーション層 プロファイル [6LoWPAN] + Network Access Control Solution Key distribution, Frame Security
第2層	Wi-SUN MAC 部	Wi-SUN MAC層 プロファイル [IEEE 802.15.4/e] + IE extensions + L2 routing: RAMP (options, ANSI/TIA-4957.210)
第1層	Wi-SUN 物理層部	Wi-SUN 物理層 プロファイル [IEEE 802.15.4g]

■ 図7. Wi-SUN FANプロファイルの基本構成

802.15.4、15.4g、15.4eから強制規格部分と選択されたオプション規格から構成される。特にデータリンク層においては、IEEE 802.15.4e規格とIE (Information Elements) の拡張により、周波数ホッピング、近接IoT機器の探索 (Discovery)、参加 (join)、Protocol dispatch等に対応している。また、アダプテーション層、ネットワーク層、トランスポート層はIETF標準の6LoWPAN、IPv6、ICMPv6、TCP、UDPを採用しており、マルチホップとしてIETF標準化のRPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy network) を採用している。また、オプションで米国TIA TR-51で標準化されたANSI/TIA-4957.210 L2R (これをMesh under routingという) にも対応している。認証方式としてWiFiシステムで導入実績のあるIEEE 802.1xを用いている。以上の機能を用いてユニキャストもしくはマルチキャストのフォワーディングに対応している。

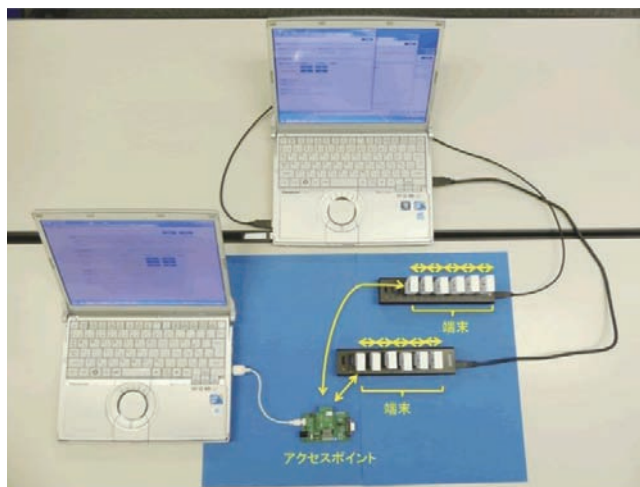
このWi-SUN FANプロファイルの物理層及びデータリンク層は、IEEE 802.15.4系を利用しているが、それ以外の上位の層はWiFiシステムと非常に親和性が高い。そして、これを用いた機器の開発は進んでいる。図8に開発されたアクセスポイント及び端末機器ならびにそれらを用いたマルチホップの実証試験の様子を示す<sup>[4]</sup>。

## 6. 今後の展開

HANのブルーート用プロファイルは、日本においてはTTC JJ300.10方式Aとして採用されており、また、全国の電力会社に採用が決定されている。シングルホップHANはWi-SUNアライアンスが指定するテストラボにおいて認証試験が始まっている。拡張HANは規格認証、相互接続性認証のための試験仕様がすでに制定されており、認証試験のための測定器の開発が進んでいる。日本においては、電力



開発した無線機の外観  
(左：アクセスポイント、右：端末)



マルチホップ実験の様子

■ 図8. 開発されたWi-SUN FANシステム

会社系の屋外のメータ間の通信は独自方式を採用しているため、今後Wi-SUN FANプロファイルの導入の検討が必要になる。

海外に目を向けると、シンガポール EMAでは、Wi-SUN FANプロファイルをベースにしたスマートメータリングシステムのCFPを出しており<sup>[5]</sup>、海外におけるスマートメータリング、スマートシティに対して、Wi-SUN FANの導入が加速していくことが予想される。RLMMプロファイルは、L2R標準を制定しているIEEE 802.15.10の終了に伴い、最終プロファイルが制定され、そのプロファイルはTSCからTCCに送られ、規格認証、相互接続性認証試験仕様が制定されることになる。JUTAプロファイルも同様で、最終プロファイルが制定中であり、RLMMプロファイルと同様にTCCにおいて規格認証、相互接続性認証試験仕様が制定されることになる。

多くのIoTの無線通信規格があるが、その多くは国際標準化されていない“proprietary”なシステムである。これらproprietaryなシステムは、数千万の利用者を持つスマートメータリングシステムに導入されることは難しい。理由は、単独のベンダで供給するとネットワーク上に問題が起きた時に代替手段がなくなるためである。通常ユーティリティ会社は、オープンな仕様でかつ複数ベンダの納品を基本としている。また、通信距離がホップ無しで、数km伝送可能なシステムがあるが、これらの多くはその伝送速度が数kbps程度のものである。このような方式は、単純にセンサデータの収集には良いが、クラウド側から無

線機器を制御する場合、また無線機器に不具合が出てOver the Airによるソフトウェアの書き換えを行う場合等において時間がかかりすぎ、無線機器の電力消費が大きくなり、ユーティリティ系の高い信頼性の必要となるシステムに対する導入は必ずしも適切とは言えない。

Wi-SUNプロファイルは、国際標準化されたものをベースに技術仕様ができているため、どのベンダでも機器をつくることができる。またその伝送速度は50 kbps、100 kbpsとデータ収集、無線機器制御、ソフトウェアアップデートに“ちょうどよい”無線通信システムである。また、HANで用いる場合、数kmを伝送する必要性はなく、逆に干渉が多くなる。Wi-SUNプロファイルは最大伝送距離が1km程度であるため、この点からも“ちょうどよい”無線通信システムである。IoT利用者は以上の観点も考慮にいれ、今後、無線通信システム選択を行う必要性がある。

## 参考文献

- [1] <http://www.wi-sun.org>
- [2] 原田、“スマートユーティリティネットワーク,” 信学技報、SR2010-48、pp.57-64、2010年10月。
- [3] 原田、水谷、望月、小幡、“IEEE 802.15.4gを用いた広域・移動Wi-SUN通信システム”, 信学技報、SRW2014-54、pp.43-48、2015年3月。
- [4] [http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2016/161116\\_1.html](http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2016/161116_1.html)
- [5] <https://www.ipi-singapore.org/technology-needs/seeking-development-test-bedding-integrated-remote-reading-electricity-town-gas-and>