

ITU ジャーナル 2

Journal of the ITU Association of Japan
February 2017 Vol.47 No.2

特集

日本発の無線規格「Wi-SUN」

IoT時代を支える国際無線通信規格Wi-SUN

Wi-SUNを活用した在宅高齢者のライフマネジメント技術

ガススマートメーターにおけるWi-SUN技術活用と将来展望

Wi-SUNを用いた鉄道等の社会インフラ監視通信ネットワーク

スポットライト

災害時における係留気球を用いたLTE/W-CDMA対応無線中継システムの開発・実用化

Make Listening Safe — Safe Listeningに向けたWHOの取組み—

脆弱機器を模擬した囲システムによるIoTのセキュリティ現状把握

「不完壁」なデータセンターとスーパーコンピュータを目指そう

水没コンピュータ — 理想の環境適合型データセンターを目指して—

会合報告

ITU-R SG 1 (周波数管理)、SG5 (地上業務)、SG6 (放送業務)

ITUカレイドスコープ2016学術会議



Cloud Forest, Gardens
by the Bay, Singapore

特集

日本発の無線規格「Wi-SUN」

IoT時代を支える国際無線通信規格Wi-SUN

3

原田 博司

Wi-SUNを活用した在宅高齢者のライフマネジメント技術

9

甲斐 正義

ガススマートメーターにおけるWi-SUN技術活用と将来展望

14

川田 拓也

Wi-SUNを用いた鉄道等の社会インフラ監視通信ネットワーク

18

野末 道子／流王 智子／木下 裕介

スポット
ライト

災害時における係留気球を用いたLTE/W-CDMA対応無線中継システムの開発・実用化

22

藤井 輝也

Make Listening Safe —Safe listeningに向けたWHOの取組み—

26

吉野 智美／Shelly Chadha

脆弱機器を模擬した囲システムによるIoTのセキュリティ現状把握

30

吉岡 克成

「不完壁」なデータセンターとスーパーコンピュータを目指そう

34

鯉淵 道紘

水没コンピュータ —理想の環境適合型データセンターを目指して—

38

藤原 一毅

会合報告

ITU-R SG 1 (周波数管理)WP1A・WP1B会合(2016年11月)結果報告

44

総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室

ITU-R SG5関係会合の結果について

47

武田 真理／奥井 雅博／中村 一成

ITU-R SG6(放送業務)関連会合(2016年10月)結果報告

51

佐々木 智昭

第8回ITUカレイドスコープ2016学術会議報告

55

松本 充司／村田 嘉利／池田 佳和／Ved P. Kafle



Cloud Forest, Gardens
by the Bay, Singapore

この人・
あの時

シリーズ! 活躍する2016年度
国際活動奨励賞受賞者 その6

60

宮寺 好男

【表紙の絵】

大谷大学文学部教授 池田佳和

●クラウド・フォレスト(シンガポール)

ガーデンズ・バイ・ザ・ベイ植物公園にあるラグビーボールを半分に切った形のガラス張り温室。中に入るとすぐに巨大な滝が何本も流れ落ちていて、パワースポットだとの噂がある。蘭の花や熱帯植物を身にまとった塔に登り、周囲を取り巻く飛び出した遊歩道を歩いて熱帯雨林を見学できる。

本誌掲載の記事・写真・図表等は著作権の対象となっており、日本の著作権法並びに国際条約により保護されています。これらの無断複製・転載を禁じます。



ITU (International Telecommunication Union 国際電気通信連合) は、1865年に創設された、最も古い政府機関です。1947年に国際連合の専門機関になりました。現在加盟国数は193か国で、本部はジュネーブにあります。ITUは、世界の電気通信計画や制度、通信機器、システム運用の標準化、電気通信サービスの運用や計画に必要な情報の収集調整周知そして電気通信インフラストラクチャの開発の推進と貢献を目的とした活動を行っています。日本ITU協会 (ITUAJ) はITU活動に関して、日本と世界を結ぶかけ橋として1971年9月1日に郵政大臣の認可を得て設立されました。さらに、世界通信開発機構 (WORC-J) と合併して、1992年4月1日に新日本ITU協会と改称しました。その後、2000年2月15日に日本ITU協会と名称が変更されました。また、2011年4月1日に一般財団法人へと移行しました。



IoT時代を支える国際無線通信規格 Wi-SUN



京都大学 大学院情報学研究科 教授 **原田 博司** (はらだ ひろし)

1. はじめに

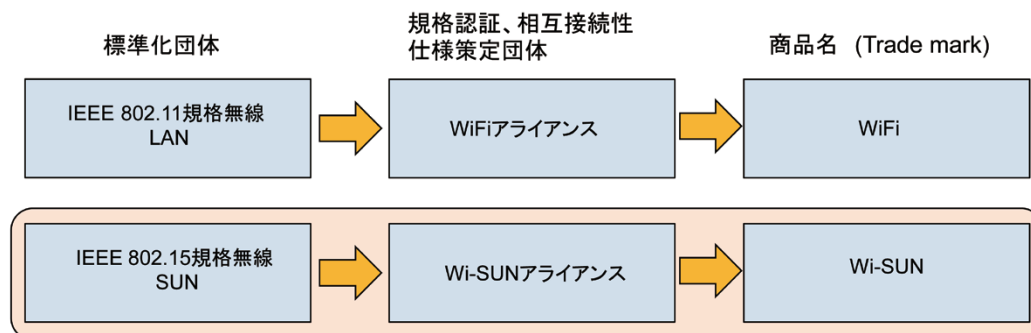
コンピュータ等の情報機器だけでなく、すべての“モノ”に通信機能をもたせ、インターネット等により相互に接続させ、計測、制御、認識を行わせる“モノ”のインターネット (Internet of Things、以下IoTとする) が現実のものになりつつある。

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^[1]”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WiFiTM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



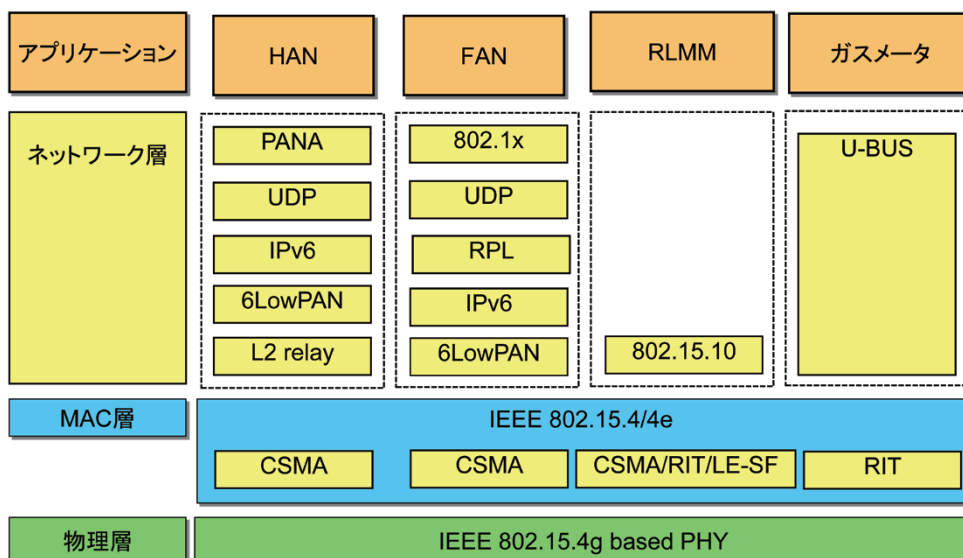
同様にIoT、スマートメータリングに利用される無線PAN (Personal Area Network) の場合は、現在、主にIEEE 802.15.4で標準化が行われている。特に屋外利用も想定し、数10 kbps ～数100 kbpsの伝送速度ながら1km程度の伝送距離を実現するIEEE 802.15.4gがIoT用の無線PAN規格の物理層の代表である^{[2][3]}。また、データリンク層はIEEE 802.15.4及び15.4e規格で制定されている。これもIEEE 802.11と同様に各種アプリケーションに対応させるためにIEEE 802.15.4.15.4g、15.4e規格に加え、IETF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^[1]。

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

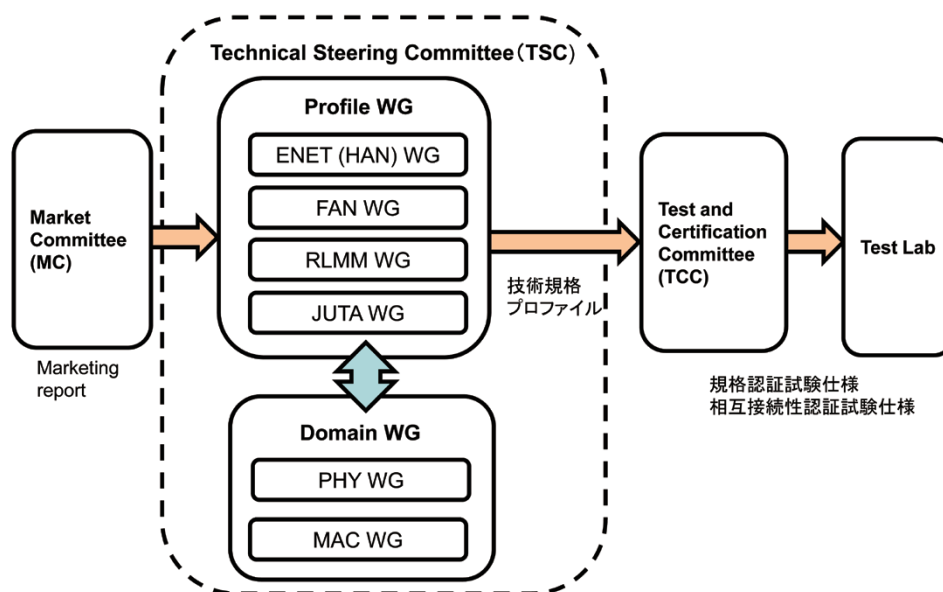
ケーション実現に必要な規格を抜き出すことにある。このためアライアンスでの標準化は第二の国際標準化と言える。

3. Wi-SUNプロフィール

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 (これをプロフィールと呼ぶ) 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“プロフィール”を制定する。その後、このプロフィールは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ィール



■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

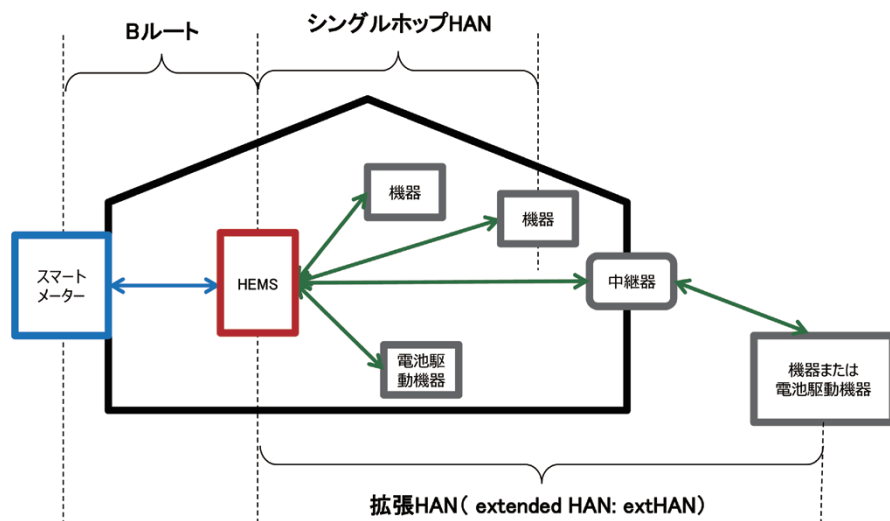
周波数（日本）	920 MHz帯
送信電力	20 mW（免許不要）、250 mW（登録局）
主要変調方式	2GFSK
伝送速度	50 kbps、100 kbps、200 kbps
最大データ長	2047 octets
通信距離	約500 m

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プロフィールは、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プロフィール

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（スマートメーター）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 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. B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Bルート通信と呼ばれる。もう1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。

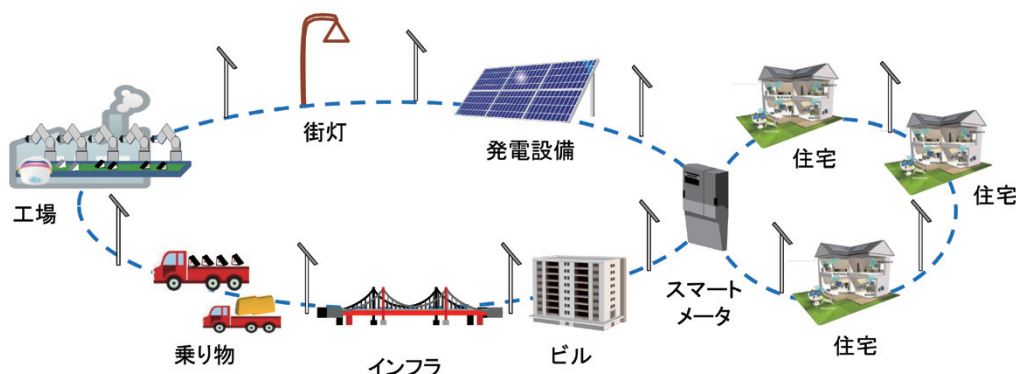
Bルート通信、シングルホップHAN及び拡張HAN用のプロファイルの基本構成を図5に示す。このプロファイルの物理層及びデータリンク層は、IEEE 802.15.4、15.4g、15.4e標準規格から強制規格部分と選択されたオプション規格から構成される。アダプテーション層、ネットワーク層、トランスポート層はWi-SUNで独自にオープンな国際標準化を元に制定されており、それぞれIETF標準の

6LoWPAN、IPv6、TCP、UDP、PANAが採用されている。そしてBルート、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 802.15.4/4e] + 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]

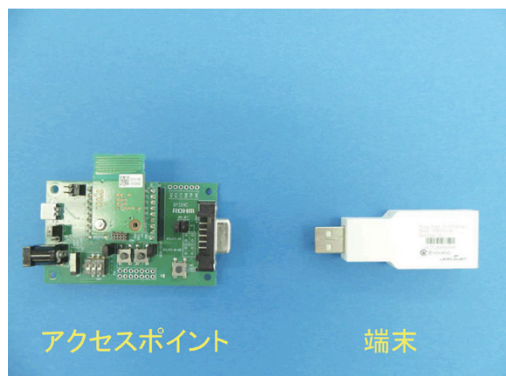
■図7. Wi-SUN FANプロファイルの基本構成

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。

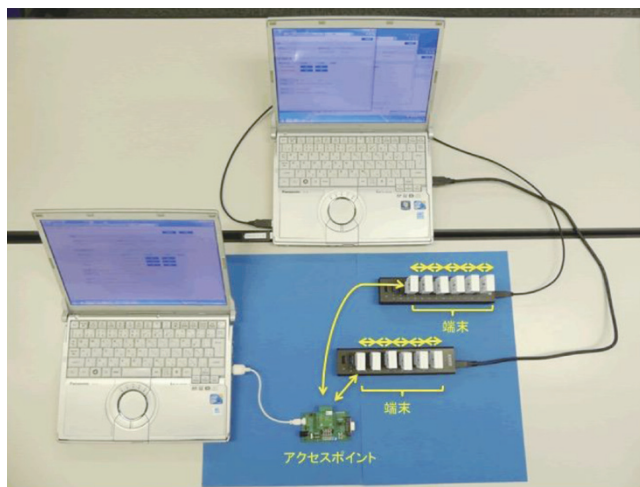
このWi-SUN FANプロファイルの物理層及びデータリンク層は、IEEE 802.15.4系を利用しているが、それ以外の上位の層はWiFiシステムと非常に親和性が高い。そして、これを用いた機器の開発は進んでいる。図8に開発されたアクセスポイント及び端末機器ならびにそれらを用いたマルチホップの実証試験の様子を示す^[4]。

6. 今後の展開

HANのブルーroot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^[5]、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
- [5] <https://www.ipi-singapore.org/technology-needs/seeking-development-test-bedding-integrated-remote-reading-electricity-town-gas-and>



Wi-SUNを活用した在宅高齢者のライフマネジメント技術

NECソリューションイノベータ株式会社 イノベーション戦略本部 本部長代理

かい まさよし
甲斐 正義



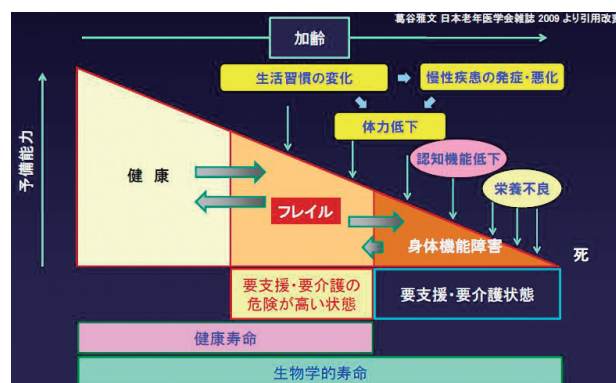
1. はじめに

近年、「少子高齢化」「無縁社会」「超高齢化社会」、団塊の世代の方々が75歳以上となり全人口の18%を占める「2025年問題」、人口は9000万人を下回るが65歳以上の人口が40%となる「2060年問題」など、高齢者の多い時代を示すキーワードに溢れており、現在はこれらの前兆を示すように高齢者を対象とした「徘徊」「逆走」「介護殺人」などのキーワードも増えてきている。

健康とは「生活機能」全体が高い水準にあることであり、加齢に伴う心身機能の衰えは誰もが抱える課題であるが、近年では生活水準や生活環境の向上もあり、生活機能は世代を追うごとに向上し、同じ年齢の高齢者であっても年々に健康になっていると言える(図1)。

一方、介護保険制度における要介護者または要支援者と認定された高齢者は年々増えており、厚生労働省 平成28年度版高齢社会白書によれば、高齢者の要介護・要支援認定者数は2003年度末に370.4万人であったが2013年度末で569.1万人となっている。さらに、前期高齢者(65～74歳)で要介護・要支援の認定数は4.4%であるのに対して、後期高齢者(75歳以上)では32.1%であり、急激な増加となり、特に要介護認定者数が3%から23.3%へと大きく上昇している。

健康の状態は多くの場合、活動的であり元気な状態から、フレイル(虚弱)な状態を経て、要支援・要介護の状態へ

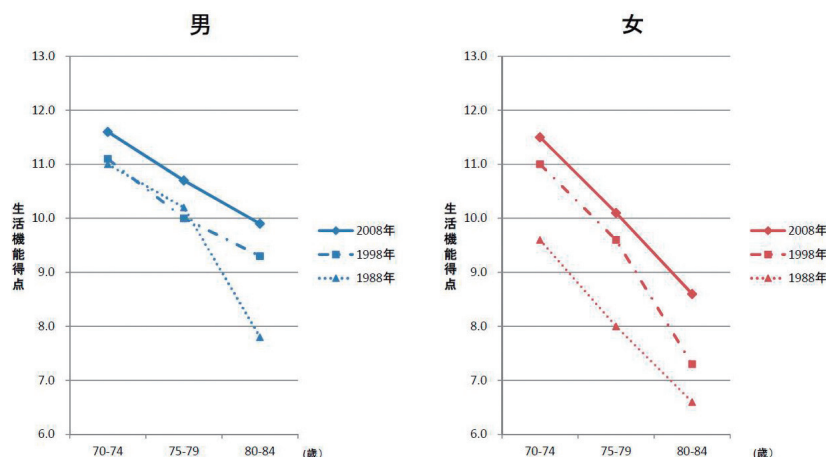


■図2. 加齢に伴う身体機能変化と慢性疾患(佐竹昭介、国民健康保険中央会 平成27年度 都道府県在宅保健師等会 全国連絡会 2016年2月3日 資料No.2より引用)

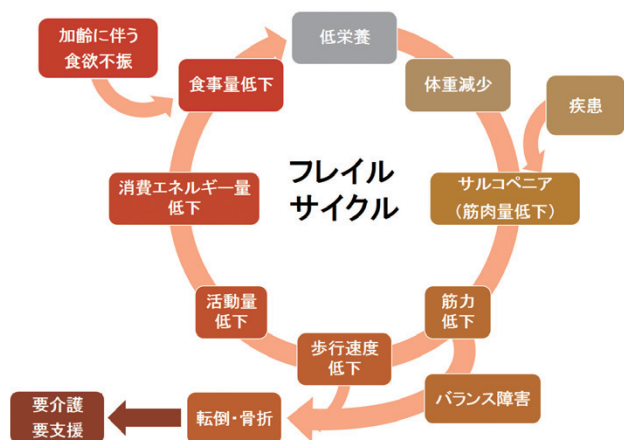
移行する(図2)。フレイル状態にある高齢者は、全高齢者の9%であり、フレイル予備軍も含めると32%になる。(日本老年医学会 高齢者総合的機能評価、鳥羽研二作成;2015年6月改訂版 座学テキストより)

また、フレイルの状態には、ある程度回復する力が残っており、健康な状態に回復する可能性があることから、高齢者3200万人(2013年10月)のうち1000万人は要介護・要支援の予備軍であり、これらフレイルな高齢者を早期に発見し、早期に生活機能を維持・向上することが、要介護・要支援への予防にとって、非常に重要だと考えている。

フレイルの状態は、図3に示すような悪循環により成り立っていると考えられている。



■図1. 生活機能の時代変化(鈴木隆雄、厚生労働省 市町村セミナー 2016年6月17日 資料より引用)



■図3. フレイルサイクル

このうち、歩行速度低下・活動量低下に着目し、センシングによるフレイル状態の早期発見を試みている。

歩行速度が0.8m/secを下回るとサルコペニア(筋肉量低下)であるとの判断となり、転倒の危険性が高まる。また、歩行速度の低下は健康寿命の短縮につながる(図4)。

これら、個人のバイタルデータである歩行速度・活動量を計測しフレイルの状態を早期発見することは、高齢者にとってのヘルスケア的なライフマネジメントであり、ライフラインなど生活全般から得られる活動量に比例するデータも収集・管理することは、総合的なライフマネジメントでもある。以下に、ライフマネジメントにおける技術を紹介する。

2. 小型センサ

筋力量や歩行速度などは、医療機関などにおける定期的な身体測定により把握され、フレイルであるかを診断して

いる。高齢者の健康状態は本人だけでなく、家族・友人など周囲にとっても関心事でもあり、気になれば常に状態を知りたくなる。

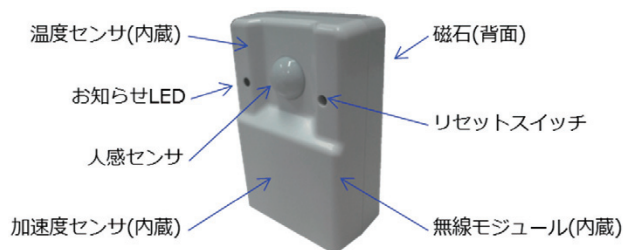
身体測定は一般的な機材によって実施可能であるが、定期的な所定会場での測定は高齢者にとって容易ではない。そこで、普段の日常生活において高齢者が測定を意識することなく、小型センサによる歩行速度や生活行動の計測を実現した。

小型センサ(図5)は、W60×D40×H22(mm)、約40gであり、金属壁には背面の磁石により設置可能である。

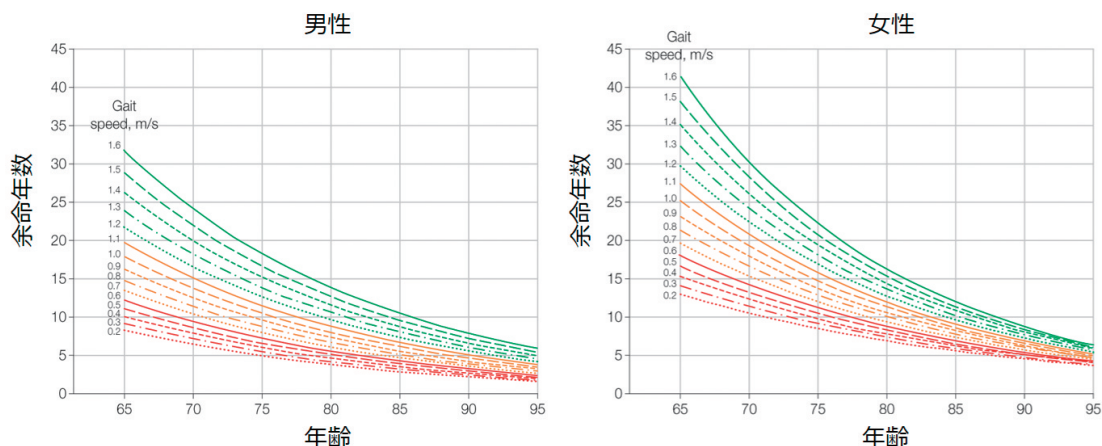
温度センサ・焦電型人感センサ・3軸加速度センサを内蔵しており、設置位置の温度を15分ごとに計測し、前面を通過するヒト体温の検知が可能である。さらに、設置位置が扉である場合、扉の開閉も検知可能である。

いずれの計測・検知においても、計測・検知するたびに、計測・検知した時刻と値を無線送信する。

小型センサには、設置時の動作確認用としてLEDを装備している。そのほかにリセットスイッチも装備しているが、高齢者もしくは家族などによる宅内への設置において、で



■図5. 小型センサ



■図4. 年齢と歩行速度による予測平均余命の中央値 (Stephanie Studenski etc, Gait Speed and Survival in Older Adults, JAMA. 2011; 305 (1) : 50-58.doi: 10.1001/jama.2010.1923. より引用改変)



きる限りの手順操作を不要にし、電池挿入にて計測開始となるようにしている。

無線モジュールにはWi-SUN 20mW/100kbpsを利用し、無線送受信に係る低消費電力化を実現している。この結果、現時点において、ボタン型電池（CR2450）1つで90日間の連続動作が可能である。

3. 無線隔測器

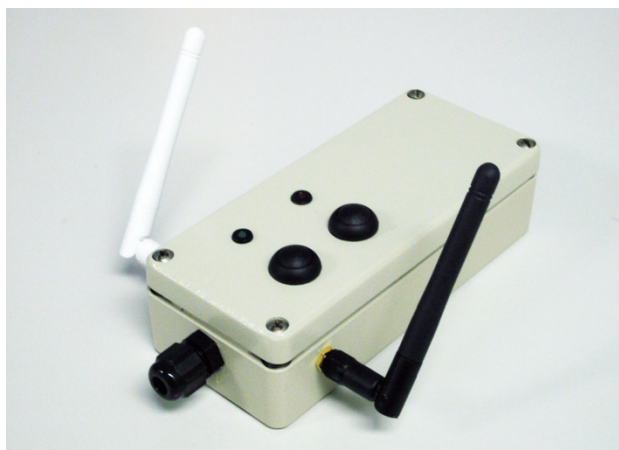
従来において活動量は、高齢者に活動量計を保持してもらい計測していた。しかしながら、日常生活において常に活動量計を保持してもらうことは困難である。そこで、小型センサによる移動範囲の計測に加え、水道・ガス・電気のライフライン計測によって、生活全体の活動量の算出を試みている。水道・ガスに関しては、それぞれのメータ計測値を収集する無線隔測器を実現した。電気に関しては、分電盤にて総消費電流を計測・収集する無線隔測器を実現した。

いずれの無線隔測器も入力信号は異なるが、装置としては同じものである（図6）。

無線隔測器は、屋外設置することもあり、防水・防塵対策し、さらには、マルチアンテナを採用することで無線の接続性を高めている。また、設置時の動作確認用としてLEDを装備しており、小型センサ同様に、メータ設置事業者が容易に設置できるよう、簡単な操作のみで計測開始となるようにしている。

無線モジュールには、小型センサ同様にWi-SUN 20mW/100kbpsを利用し、無線送受信に係る低消費電力化を実現している。

現在は、1分ごとの流量計測、1日ごとの無線送信を行っ



■図6. 無線隔測器

ている。また、メータとの接続においては、メータからの異常値取得なども行っている。この結果、現時点において、単2電池2本にて、1.5年動作する。

4. 無線親機

日常生活の計測は、高齢者の宅内に小型センサ及び計測情報を収集する無線親機を設置し、実施する。

高齢者の居宅は戸建てや団地などレイアウト・広さも様々であり生活スタイルも様々であることから、無線親機を階段下や宅内の中心などの無線的な理想環境に設置できるとは限らない。

木造家屋・軽量鉄鋼家屋それぞれの宅内に小型センサと無線親機を任意に設置し、通信状況を確認したところ、1階・2階各部屋から無線親機への通信は非常に良好であり、高齢者の嗜好に合わせた場所（本棚上や、電話機BOXの脇など）に配置しても、情報収集可能であった。

5. 生活歩行速度の計測

宅内における歩行の速度は、

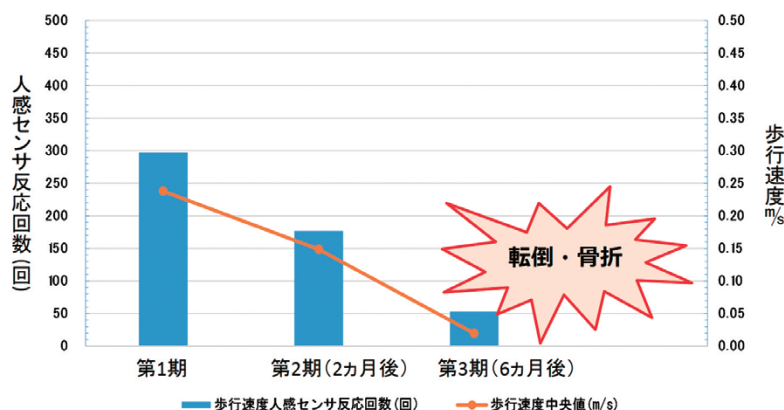
- A) 生活歩行速度：扉や段差など歩行を妨げるものが無い状況での歩行速度
 - B) 生活移動速度：扉や段差など歩行を妨げるものがある状況での歩行速度
 - C) 生活行動速度：扉や段差などを含み、トイレ・炊事など生活行為を含む速度
- の3種類に分類できる。

このうち、生活歩行速度の計測においては、焦電形人感センサの複眼レンズ（フレネルレンズ）は一眼だけとしたスリット加工することによって、検知範囲を絞っている。

計測のスタート・ゴールに配置する小型センサは、検知範囲が重ならないように設置する必要があり、最小の水平間距離は50cmであった。また、小型センサによる歩行速度の計測と、身体測定時における従来のストップウォッチによる歩行速度と比較すると、 $\pm 0.2 \sim 0.5\text{sec}$ であり、手動計測誤差範囲内であった。

小型センサを高齢者宅内の廊下に設置し、年間を通じて生活歩行速度を計測した結果、最初 0.24m/sec であったが、その後 0.15m/sec へ、さらに転倒・骨折に至る直前には 0.02m/sec まで低下していたことを確認できた（図7）。

身体測定における歩行速度は、筋力測定を目的としたMAXスピードであり、転倒リスクが高まる基準値は 0.8m/sec であるが、生活歩行速度は、はるかに低い。



■ 図7. 人感センサ反応回数と歩行速度(中央値)の推移

これは日常生活における歩行が、主に急ぐ必要が無い状況下での歩行であり、歩行に要する筋力すべてを利用したものでないことなどが考えられる。現在は、生活移動速度や生活行動速度を加味し、さらなる分析を進めているところである。

6. 生活行動速度の計測

日常生活における複雑な動作を必要とする行動にはトイレがある。これまでの研究においてトイレ行動と筋力の相関は明らかとなっていないが、所要には、衣服をおろす・座る・立つ・衣服をつける動作があり、細かさと素早さも必要であり、筋力と相関すると考えている。

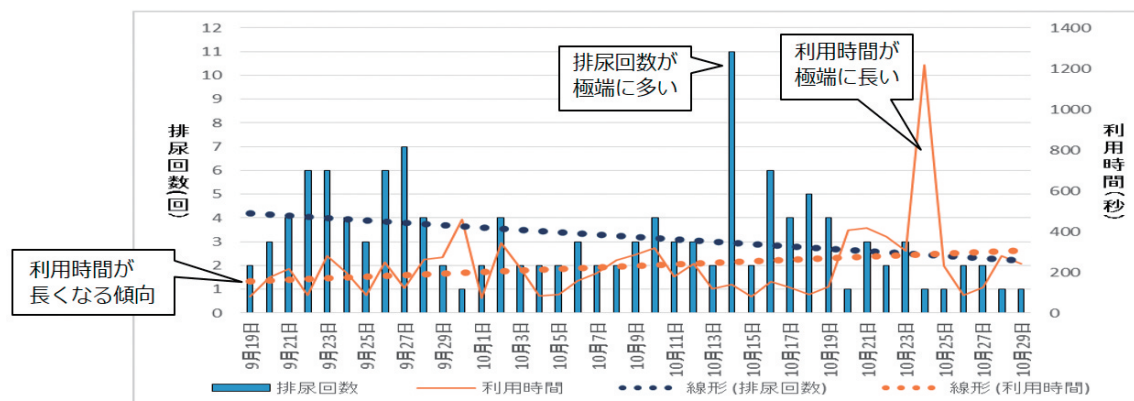
小型センサをトイレ内に設置するにあたっては、トイレ扉と焦電型人感センサの向きに注意する必要がある。焦電型人感センサは、人の体温から発する赤外線を検知しており、小型センサに搭載した焦電型人感センサでは木や壁など厚い遮蔽物を透した赤外線は検知できない。しかしながら、遮蔽効果の低いガラスの場合、小型センサの焦電型人感セ

ンサでも難なく検知できる。この結果、トイレ扉にガラス窓がある場合、トイレ前を横切っただけでも、トイレ内に設置した小型センサが反応することもある。そのため、トイレ内への設置は、扉を背にするなどのトイレ外を検知しないようにする必要がある。

さらにトイレ行為は最高位のプライバシーでもあり、小型センサの焦電型人感センサでは個々の行為を判別できないにもかかわらず、レンズを要していることから、カメラ同様行為そのものを細かく見られていると感じられる方が多い。そのため設置時においては、高齢者や家族への十分な説明による精神的配慮ならびに同意も欠かすことはできない。

トイレ内に設置した小型センサの計測結果から、日常生活におけるトイレ行動には、利用回数が減少するにも関わらず利用時間が長くなる、突然に利用回数や利用時間が多くなるなど、いくつかの特徴あることが分かった(図8)。

突然に利用回数や利用時間が多くなることに関しては、食事が大きく影響していることも考えられる。また、利用回数が減少するにも関わらず利用時間が長くなることに関



■ 図8. トイレ行動時間



しては、季節変化も影響していることも考えられる。いずれにしても継続した計測と分析が必要であり、筋力との相関を含めフレイルサイクルへの影響について、さらなる分析を進めている。

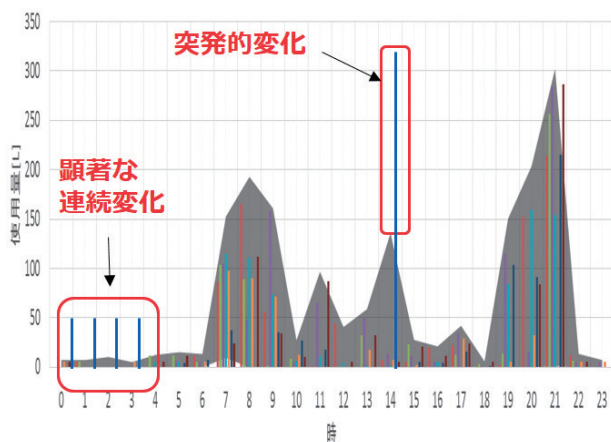
7. ライフラインの計測

ライフラインの計測による死活判断ならびに蛇口など利用末端での計測による活動計測は従来より行われている。

高齢者の健康状態を把握するにあたって、個別行動を明らかにする以前に全体傾向から、活動量の変化を把握することが重要である。

ライフライン（水道）を計測した結果を図9に示す。

これら活動パターンの時間的減少・量的減少が、日常生活における高齢者の活動量低下を示すと考えている。また、活動パターンにおける、突発的変化や顕著な連続的変化も、日常生活における高齢者の健康を低下させる要因だと思えるが、今後のさらなる分析を進める。



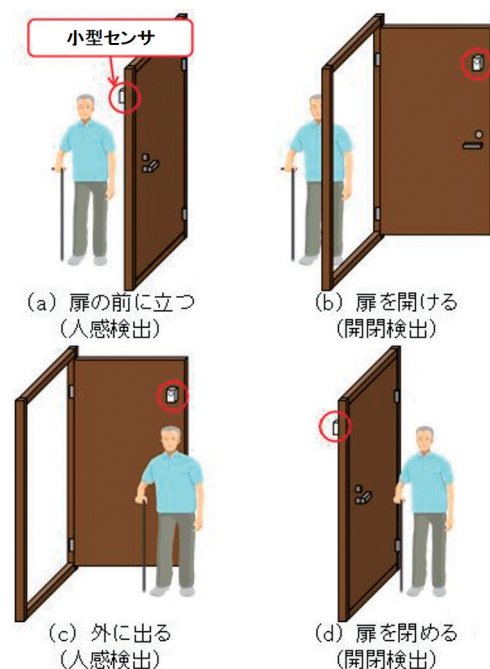
■図9. ライフライン（水道）の計測結果

8. 外出帰宅計測

宅内活動の計測において、外出したことを検出することは非常に重要である。そこで、小型センサを玄関扉に設置し、外出検知している（図10）。

9. サービスへの展開

在宅での歩行速度・活動量の計測値は、医療・看護の学術的知識向上に役立てるとことに加え、リハビリ施設などでの健康サービス向上に適用できると考えている。また地域包括ケアサービスへの情報提供により、社会的側面から高齢者の健康寿命延伸に適用できると考えている。



■図10. 外出帰宅の検知

さらに、宅内の人感計測により宅内への在宅状況を把握でき、子供の帰宅管理やライフラインのパートタイムな不必要判断などさまざまな日常サービスへの展開を図ることが可能である。

また、無線にWi-SUNを利用しており、Wi-SUNはスマートメーターによって、各戸への普及が進むことから、小型センサとスマートメーターとが直接的な情報共有することによって宅内にてデータ分析処理を完結させ、結果だけをクラウドへ送信することも可能となり、ICTサービスの課題である通信費用の低減も可能となる。

10. おわりに

小型センサ・無線隔測器ならびに宅内実験は、国立研究開発法人情報通信研究機構から受託したプロジェクト「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」の一環として実施したものである。最後ではあるが、本稿執筆にあたり、同研究に尽力いただいている金沢大学 加藤先生・北岡先生・正源寺先生、首都大学東京 浅川先生、仏教大学 植村先生、金沢市企業局、日本電気 小林マネージャ、NECソリューションイノベータ 石田マネージャ、稲垣主任、宮崎主任に感謝の意を表する。



ガススマートメーターにおけるWi-SUN技術活用と将来展望

東京ガス株式会社 基盤技術部スマートシステム研究開発センター

かわた たくや
川田 拓也



1. はじめに

東日本大震災以降の電力需給の逼迫を背景にスマートメーター導入の機運は一層高まり、電力スマートメーターについては2024年までの導入完了を計画している。

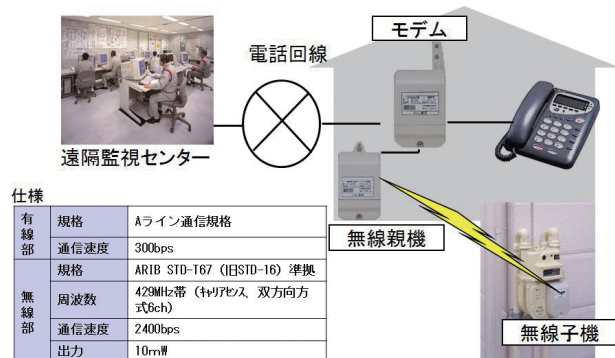
一方、ガス業界においても、東京ガスは業務効率化・双方向通信による利便性の向上・計測データの活用を目的として、2018年度からの導入開始に向けて、技術開発を進めている。ガススマートメーターは、外部電源を取ることができない環境に設置されることが多く、通信部含めて10年間電池駆動しなければならない点において、電力スマートメーターより厳しい技術的課題を有している。低消費電力性能と高信頼性の両立が求められるガススマートメーターにとって、Wi-SUNの技術は非常に重要な位置を占めている。

本稿では、ガススマートメーターを構成する各要素技術、実証実験の技術開発動向を紹介する。

2. ガススマートメーターを構成する要素技術

2.1 概要

スマートメーターは、経済産業省により設置されたスマートメーター制度検討会において、「遠隔検針」「遠隔開閉」「1時間ごとのガス使用量の収集発信の機能」を具備したメーターと定義されている。電力スマートメーターと異なり外部電源を利用できないガススマートメーターは、メーター本体、通信端末ともに10年間電池で駆動するための低消費電力性能が求められる。



■図1. 従来ガスメーター遠隔監視システムの構成

2.2 従来システム

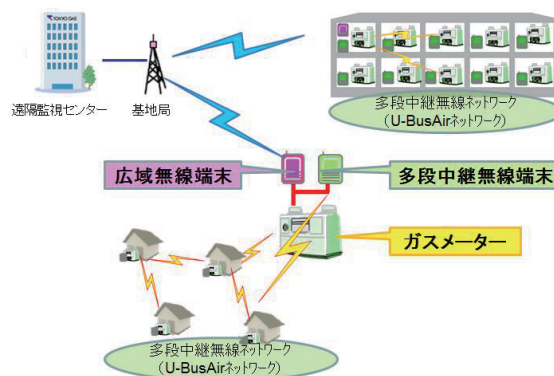
東京ガス、大阪ガス、東邦ガスをはじめとした都市ガス・LPガス事業者は、安心・安全のため、お客さまの固定電話回線を利用したガスメーターの遠隔監視・制御サービス及び自動検針を20年以上にわたり展開している。従来のガスメーターの遠隔監視システムを図1に示す。東京ガスは、従来システムにおいてガスの見守りサービスや難検針物件の約40万戸に導入している。

従来システムは、以下に挙げる観点において、スマートメーターへの適用には課題がある。

- 一般家庭の通信インフラの短寿命化／多様化により、需要家の電話回線が急速に減少
- 300pbsと低速通信のため1回の通信にかかる消費電力が大きく、10年間電池駆動の制約の中でスマートメーターの通信要件を満たすことが困難

2.3 ガススマートメーターシステム構成

東京ガス、大阪ガス、東邦ガスは、ガススマートメーターを実現するために、遠隔監視センターとお客さま宅のスマートメーターを従来システムより高速かつ効率的につなぐ双方向通信インフラシステムの開発を行っている。ガススマートメーターシステムは、①次世代通信規格であるU-Busインタフェースを搭載した「ガスメーター」、②監視センターにつなぐゲートウェイの役割を果たす「広域無線ネットワーク」、③ガスメーターを集約する「多段中継無線ネットワーク」の3つの技術要素で構成される。(図2)



■図2. ガススマートメーターシステムの構成



2.4 ガスメーター

2.4.1 概要

都市ガス業界では、安全機能の拡充を目的としたマイコンメーターの開発導入を通じ、メーターの高機能化を早期から推進し、現在ほぼ全数のお客さま宅にマイコンメーターの導入を完了している。

マイコンメーターは、「流量監視・遮断、圧力監視・遮断、感震遮断」等の安全機能を具備しており、一部のガスメーターは遠隔自動検針や遠隔開閉栓を実現するための双方向通信インタフェースを有している。

従来の都市ガスメーターの通信規格（名称：Aライン）は、300bpsと低速であり、スマートメーターに求められる通信トラフィックへの対応が困難であったことから、次世代の通信規格（名称：U-Bus）を搭載した超音波メーターの開発を行った。U-BusはAラインと比較して通信速度を約30倍高速化するとともにパケット通信方式を採用し、広域無線端末、多段中継無線端末にも搭載される通信インタフェースである。

また、スマートメーターの要件である遠隔開閉栓のために、超音波メーターには、双方向で開閉が可能な遮断弁が搭載されている。

2.4.2 超音波メーター

超音波メーターは、計量部に可動部品がない電子式ガスメーターであり、小型化及び通信機能の拡張性、省電力化を実現している。具体的には、膜式メーターに対して体積比3分の1以下、重量比2分の1以下となっている。また、メーター構成部品の電子化により高い耐久性・信頼性を有

し、更に電子部品のモジュール化による部品点数の大幅削減により、量産時の更なるコストダウンが期待されている。（図3）

また、主要部品である超音波センサ、圧力センサ、遮断弁、計測回路等を都市ガス用とLPガス用で共通化することで、マスメリットによるコストダウンも図っている。ガス計測に最適化された超音波センサは、高感度かつ低電圧駆動という特長を有しており、このセンサに低消費電力を実現したコントローラを組み合わせることで、電池での10年間の動作を可能としている。

2.5 広域無線ネットワーク

2.5.1 概要

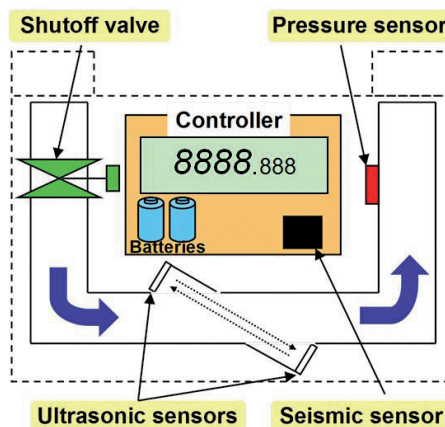
広域無線ネットワークは、ゲートウェイの役割を果たす無線端末を介して監視センターにつなぐネットワークである。ガスメーター及び多段中継無線端末と接続するためのU-Busインタフェースを有する。

2.5.2 LPWAN

次世代の広域無線ネットワークとして、低消費電力LTEをはじめとしたLPWAN（Low-Power Wide-Area Network）の活用を検討している。スマートメーター向けのLTEは、通信速度が10kbps～10Mbpsと低速だが、広範囲・省電力・低コスト化が期待できる。Cat.1、Cat.M、NB-IOT（Cat.NB）の呼称で規格化が始まっている。自営無線ネットワークではSigfox、LoRa、Ingenu等が免許不要の規格として策定され、今後の活用が期待される。



■図3. 超音波メーター外観及び内部構造





2.6 多段中継無線ネットワーク

2.6.1 概要

首都圏のように建造物が密集しているエリアは、建造物による電波の遮蔽により電波伝搬距離が著しく低下する。特に集合住宅においてパイプシャフト（またはパイプスペース）と呼ばれる金属箱に各ユーティリティのメーターが設置されるケースが多く、広域無線ネットワークとしてはより電波伝搬が厳しい環境となる。

このため、現存するいかなるLPWANの規格においても、ガスメーターの場所において100%のカバー率を実現することは不可能であり、全戸スマートメーター導入を実施するためには多段中継が可能な無線技術の導入が不可欠である。

多段中継無線ネットワークの主な役割は、

- 広域ネットワークに直接アクセス可能なガスメーターから直接アクセスが出来ないガスメーターへ通信データの中継し、全てのガスメーターとの通信を可能とすること
- ガスメーターを1台の広域端末に束ねることで、通信事業者と契約する広域端末数を削減し、通信コストの低減を行うこと

である。ガススマートメーターの多段中継無線ネットワークの通信規格は、NPO法人テレメタリング推進協議会において、都市ガス・LPガス・水道用無線規格としてU-Bus Airという名称で標準化されている。（図4・表）

■表. U-Bus Air規格

項目	内容
準拠規格	ARIB STD-T108 IEEE 802.15.4-2015 RIT
送信出力	20mW/10mW/1mW
周波数	920MHz帯
通信速度	100kbps
トポロジー	メッシュネットワーク（最大50台）
広域端末接続数	最大5台

U-Bus Airは、IEEE802.15.4-2015の低消費電力MAC方式であるRIT（Receiver Initiated Transmission）の耐干渉性能を強化したF-RIT（Feathery receiver initiated transmission）を採用することで、ネットワーク内の全ての無線機がスマートメーターの通信要件を満たしつつ10年間電池駆動を行う超低消費電力性能を実現している。

U-Bus AirのPHY層、MAC層については、Wi-SUNアライアンスにおいて標準化が進められており、2016年度末にPHY層、2017年度末にMAC層の認証が可能となる予定である。

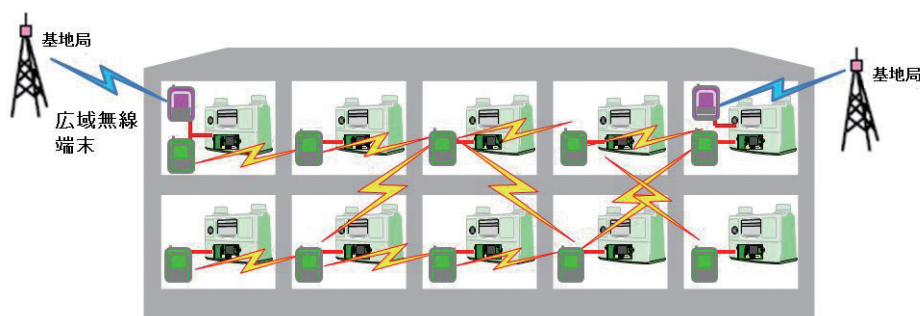
U-Bus Airは、1ネットワーク当り最大50台のメッシュネットワークを自律的に構成する。各無線機がパケットを送信するタイミングでリアルタイムに経路を選択するオポチュニスティックなルーティングプロトコルを採用することで、最大15段までのマルチホップ通信の到達率を高めている。

2.6.2 フィールド試験結果

U-Bus Airの試験結果の1例として、ある集合住宅におけるネットワーク構成及び通信成功率を示す。（図5）



■図5. フィールド試験物件概要



■図4. 多段中継無線ネットワークイメージ



本物件は130戸の集合住宅であり、U-Bus Airを3ネットワーク、設置している。各ネットワークの通信の起点となるゲートウェイ端末（以下、GW）を2階4号室、5号室、6号室に設置した。ある時点でのGWから見た中継段数を図6に示している。いずれのネットワークにおいても、平均通信成功率（リトライ無し）が99.9%以上の結果となった。

3. 実証実験

東京ガスと横浜市水道局は、多段中継無線端末を共用して水道・ガスメーターの検針を行う実証実験を2015年4月から開始している。

水道メーターは、ガスメーターと同様に外部電源をとれない環境にある上に、戸建物件では地中に埋設されており、ガスメーター以上に電波伝搬環境が厳しいという課題がある。

2015年度は、集合住宅において実証試験を実施し、同

一パイプシャフト内のガスメーターと水道メーターでU-Bus Airを共用したシステムにおいて良好な通信結果が得られたため、2016年度は戸建住宅における実証試験を実施している。（図7）

システムの共用化は、各住戸の水道・ガスの使用状況による高齢者の見守り支援などの住民向けサービスへの適用が期待できる。本試験を通じて、通信コストやセキュリティ、低消費電力化等の技術的課題などについて検証する。

4. おわりに

スマートメーターは、検針業務・開閉業務の業務効率の向上に加え、計測データの見える化による省エネルギーツール、震災時の一斉閉栓など保安防災向上としての活用が期待される。東京ガスは、省エネ性と安全性を高めるスマートメーターの技術を、国内だけでなく世界に対して発信していく。

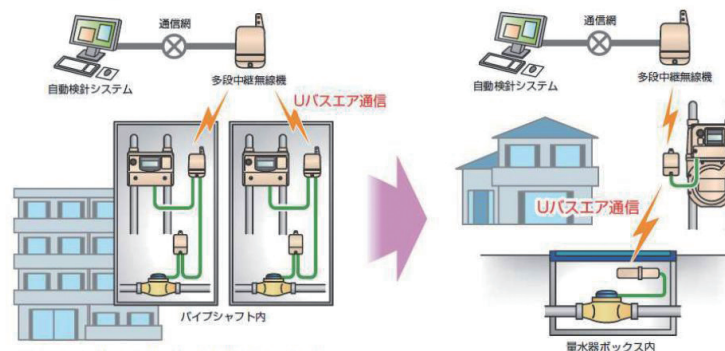
	6号室	5号室	4号室	3号室	2号室	1号室
10F	100.0%	99.9%	100.0%			100.0%
9F	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%
8F	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	100.0%	99.9%
7F	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	99.9%
6F	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%	99.7%
5F	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
4F	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
3F	100.0%	100.0%	99.8%	99.8%	100.0%	100.0%
2F	スタート	100.0%	100.0%			

	6号室	5号室	4号室	3号室	2号室	1号室
10F	2	3	3			4
9F	2	2	3	3	3	4
8F	1	2	3	3	3	4
7F	1	2	2	3	3	4
6F	1	2	2	3	3	4
5F	1	2	2	3	3	4
4F	1	1	2	3	3	4
3F	1	1	2	2	2	3
2F	0	1	1			

各部屋へのHOP数

■図6. 通信成功率と中継段数

<設置イメージ>



■図7. 横浜市水道局との実証試験

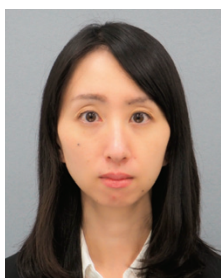


Wi-SUNを用いた鉄道等の社会インフラ監視通信ネットワーク



公益財団法人
鉄道総合技術研究所
信号・情報技術研究部
(ネットワーク・通信)
主任研究員

のすえ みちこ
野末 道子



公益財団法人
鉄道総合技術研究所
信号・情報技術研究部
(ネットワーク・通信)
副主任研究員

りゅうおう さとこ
流王 智子



三菱電機株式会社
情報技術総合研究所
無線通信技術部
無線ネットワーク
制御グループ

きのした ゆうすけ
木下 裕介

1. はじめに

1960年代の高度成長期に一齐に整備された、道路、橋、トンネル及び上下水道などの多くの社会インフラが耐用年数とされる50年を越え、補修・更新の時期を迎えて老朽化に伴う事故が懸念されている。このように老朽化した社会インフラの監視、危険予知の実現が緊急課題として顕在化しており、事前の劣化予兆を把握するために、インフラに設置したセンサからの継続的なモニタリングが必要となる。そこで、センサデータを伝送するに十分な通信速度と、低消費電力を特長とし電池駆動かつ長期間動作を可能とするWi-SUNの社会インフラ監視への適用を検討している。

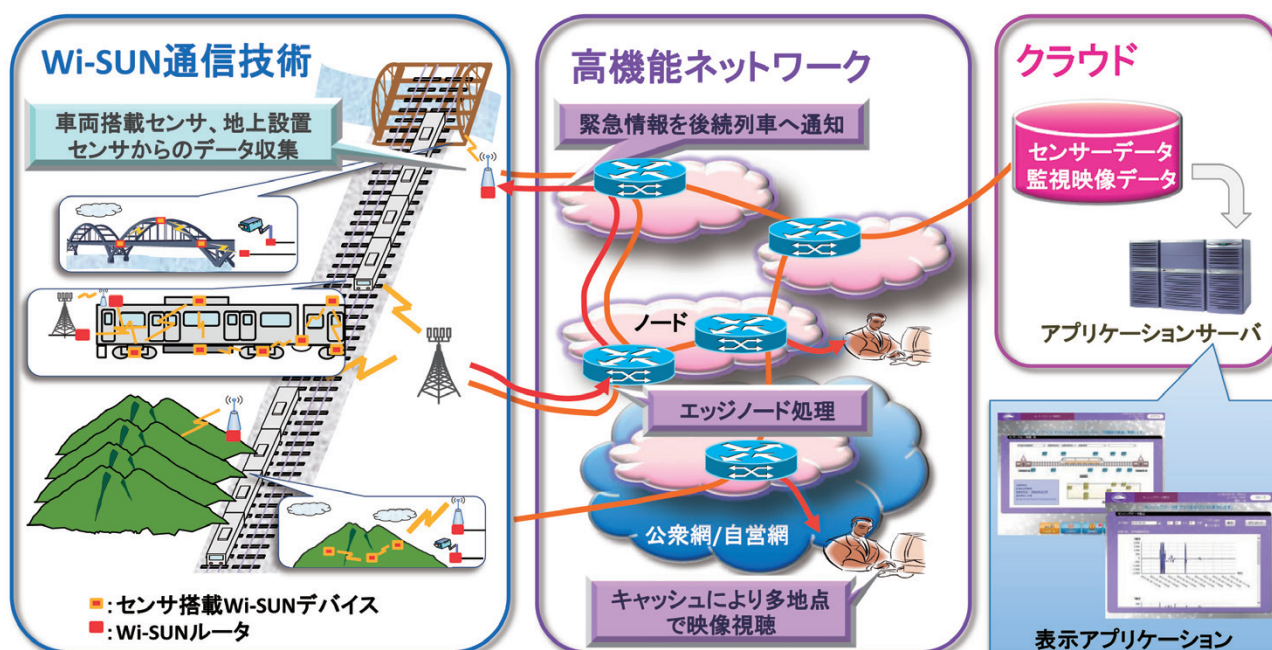
2. Wi-SUNを用いたインフラ監視通信ネットワーク

軌道異常検知、構造物劣化検知、斜面異常検知など鉄道におけるインフラ監視を、継続的なモニタリングにより行

うため、図1に示すように、インフラにセンサ搭載型Wi-SUNデバイス(Wi-SUNセンサ)を設置し、測定したセンサ情報はWi-SUNルータを経由してクラウドに収集するシステムを構築した。低消費電力のWi-SUN通信モジュールを活用することで、Wi-SUNセンサの設置及び電池交換等のコストを低減することができる。

2.1 Wi-SUN通信

Wi-SUNは920MHz帯を使用するため、無線センサネットワークに多く用いられている2.45GHz帯に比べて電波が遠方まで伝搬し、遮蔽物の陰にも電波が届くという特徴があるが、鉄道は架線構造物や線路内の各種設備など多くの遮蔽物が混在する環境にあり、かつ監視対象が地面に近い金属面である場合も多いため、電波伝搬上不利な条件下であることが多く、また雨や雪など気象条件も考慮



■図1. Wi-SUNを用いたインフラ監視システム



する必要がある。そこで、鉄道環境にWi-SUNを適用する場合を想定したネットワークを構築し評価をするためのセンサ搭載型Wi-SUN通信デバイスを開発した。

2.2 高機能ネットワーク

センサネットワークから収集されたビッグデータを、データセンターに効率的に送るだけでなく、ネットワークノード中にデータ処理機能を埋め込むことにより、ビッグデータ収集とデータセンターによる解析結果を有効に利用できるネットワークを開発評価するものである。

3. 鉄道設備におけるWi-SUN通信実証試験

鉄道設備には土木構造物や軌道、電力、信号などの地上の固定設備と、車両など移動体となる設備が存在する。いずれも、主に目視を中心とした全般的な定期検査が行われ、そこで実施される判定により抽出された設備の補修、保全計画の策定が行われている。

このような設備の経時変化をより高頻度に定量的に把握することで、危険事象の回避や劣化兆候の早期発見につなげるため、鉄道設備の状態監視を想定した以下の3種類の試験を鉄道総合技術研究所（鉄道総研）内の試験用設備を用いて伝送性能を把握し、その適用可能性を確認した。

①車上における伝送特性（試験①）

－試験車両の台車や車内にセンサを装着して走行する試験

②降雨による崩壊時を想定した斜面における伝送特性（試験②）

－大型降雨実験装置を用いた降雨による盛土崩壊の試験

③雪中条件下の伝送特性（試験③）

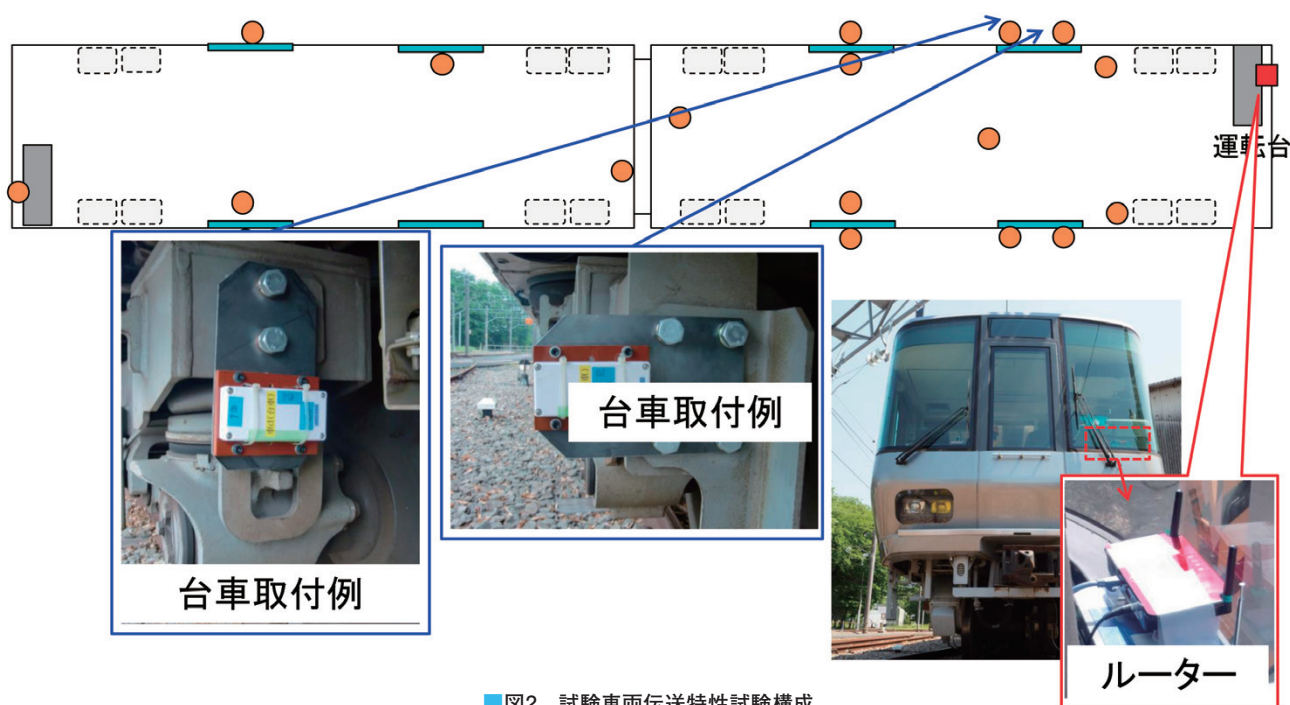
－塩沢雪害防止実験所における雪中条件下での試験

なお、開発したWi-SUNセンサは加速度センサを搭載し、それぞれの試験ごとに伝送周期を設定して送信を行う（以下、定周期送信）ことが可能であるほか、加速度の閾値を設定し、それを上回ったことを検知して伝送する（以下、検知送信）ことが可能である。

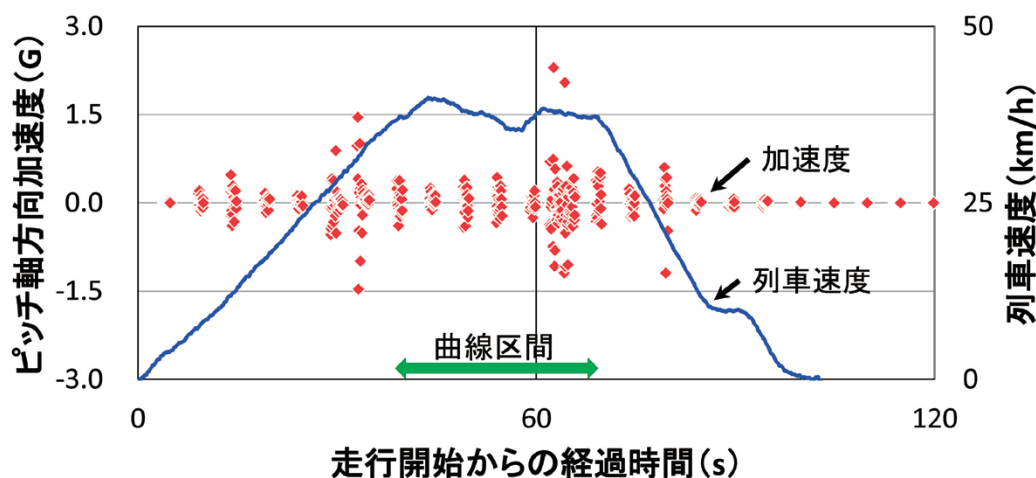
3.1.1 車上における伝送特性（試験①）

構造物の比較的緩やかな状態変化を検出する用途とは対照的に、走行中の車両状態の監視のためにはリアルタイムなデータ伝送が不可欠である。開発したWi-SUNセンサを鉄道総研の2両編成の試験車両（台車及び車両内）に設置し、図2に示す試験構成にて、20～40km/hで走行中の車両における伝送特性を把握する試験を実施した。

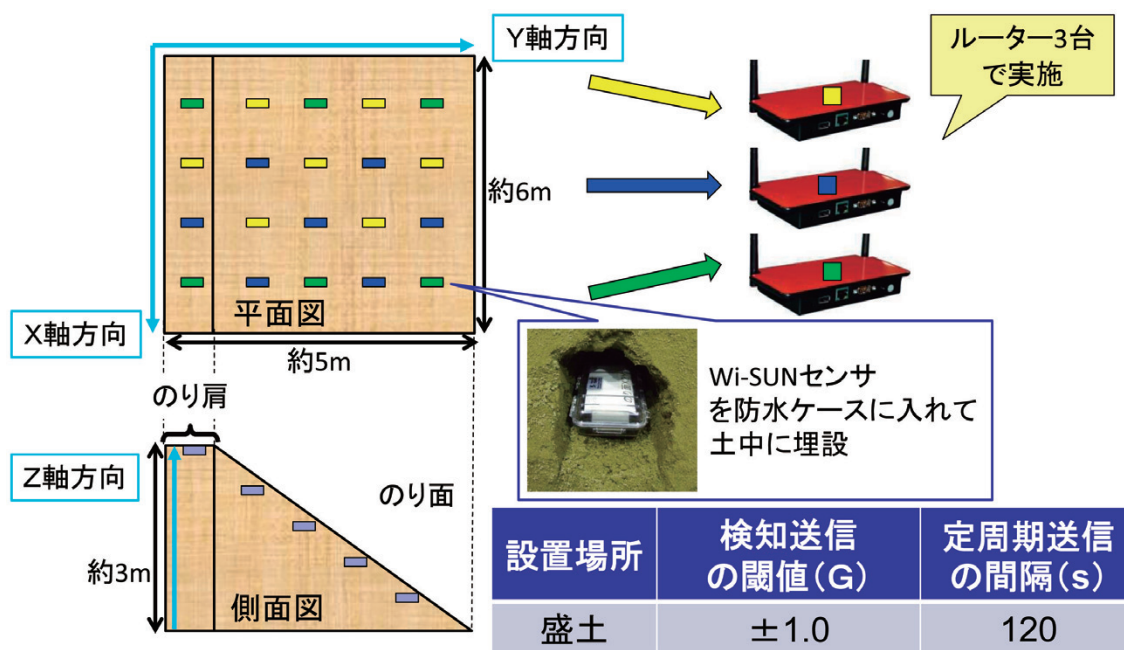
Wi-SUNセンサの測定結果を図3に示す。赤の測定点がピッチ軸方向の加速度を示しており、列車速度の変化に伴っ



■図2. 試験車両伝送特性試験構成



■図3. センサ測定結果



■図4. 斜面崩落試験構成

て測定した加速度データにも変化がみられる。走行試験車両による実証で、走行中の車上、台車ネットワークでは97%以上の測定データの到達率を達成した。

3.1.2 降雨による崩壊時を想定した斜面における伝送特性(試験②)

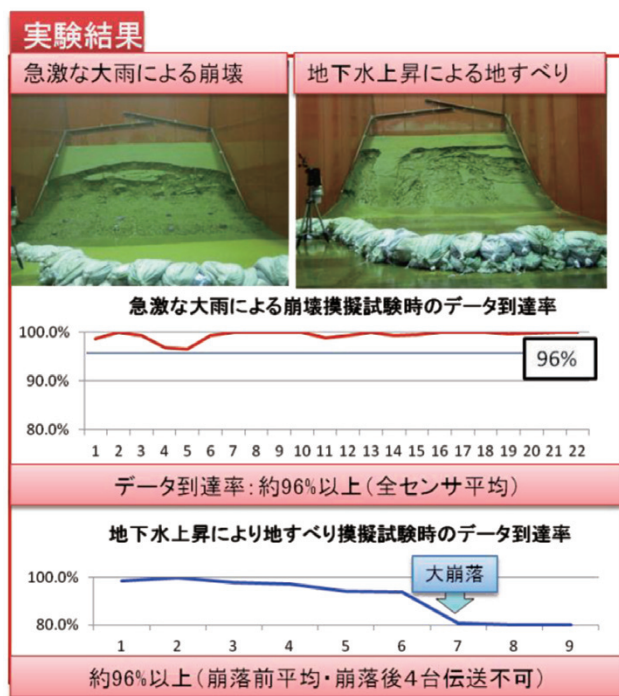
近年、ゲリラ豪雨や深層崩壊などによる盛土や切土の崩壊等の被害が発生しており、無線センサネットワークを沿線の斜面に設置し、状態を監視する必要性が高まっている。

そこで、鉄道総研内大型降雨実験装置において、盛土や切土等の斜面にWi-SUN加速度センサを設置して、(1) 急激な大雨による崩壊、(2) 地下水上昇による地すべり、の2種類を想定した試験を実施した。図4に試験構成を示す。

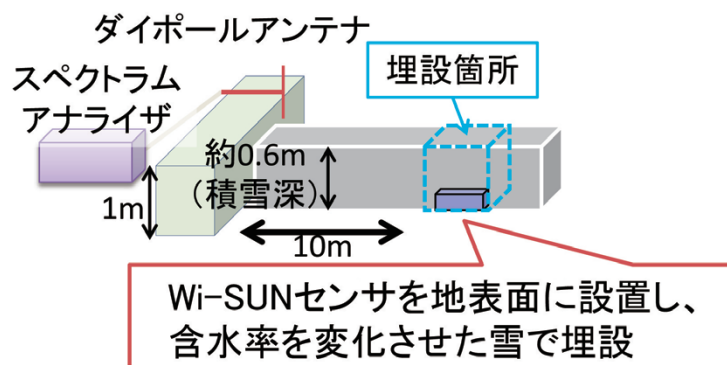
斜面崩落試験においては、定周期送信に加え、設定閾値に応じた検知送信機能により土塊移動のタイムリーな検出が確認できた。図5に斜面崩落時のデータ到達率を示す。大雨による崩落模擬では、比較的ゆっくりと土塊移動が発生し、このケースでは96%以上のデータ到達率を達成した。



一方、地下水上昇による土塊の急激な崩落では、4台のセンサが伝送不可となったが、予兆及び崩落の検出には有効に機能した。



■図5. 斜面崩落時のデータ到達率



■図6. 着雪・降雪状態における伝送性能試験概要 (左図) と結果 (右)

3.1.3 着雪中条件下の伝送特性 (試験③)

鉄道の沿線設備点検において、目視のしづらい積雪時、降雪時、融雪時は、同時にモニタリングの重要性も高く、着雪・降雪状態における伝送性能把握は不可欠であり、図6 (右) に示す構成にて伝送試験を実施した。

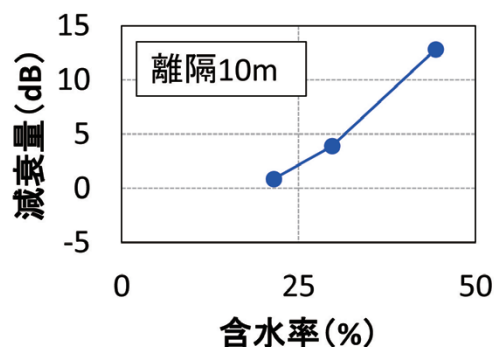
上記の試験結果より、着雪・降雪状態においては、含水率20%までの雪では伝送性能にほぼ影響が見られないが、融雪時期などの水分の多い雪の積雪下に置かれる環境などにおいては、その影響評価を行い、ネットワーク設計を行う必要があるとの知見を得た。

4. おわりに

鉄道におけるインフラ監視を、継続的なモニタリングにより行うため、低消費電力のWi-SUNセンサを活用し、複雑な鉄道環境でも機能する通信ネットワーク基盤の評価を行ってきた。今後は、これまで行ってきた試験線を用いた実証試験結果をフィードバックして、営業線を含めた実証試験により通信ネットワーク基盤の検証を進めて行くものである。

謝辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」(課題B 新たなソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発) により得られるものです。





災害時における係留気球を用いたLTE/W-CDMA 対応無線中継システムの開発・実用化



ソフトバンク株式会社 研究開発本部 フェロー兼特別研究室長

ふじい てるや
藤井 輝也

1. まえがき

2011年3月11日に発生した東北大地震により、東北地方を中心に当社の移动通信サービスエリア内で大規模な通信障害が発生した。当社では3,000余りの基地局が停電などにより、通信障害となった。また、沿岸部においては約200の基地局が津波で流されたり、地震で倒壊した。特に、流されたり、倒壊した基地局を完全復旧させるには多くの時間を要し、ほぼ元通りに復旧させるのに1か月以上を要した。

移动通信事業各社ではこのような大規模災害に備えて、携帯電話サービスエリアを迅速に復旧させる様々な取組みを行っている^[1]。

NTTドコモでは大ゾーン基地局を主要地域に設置し、災害時に通信障害を起しているエリアをこの大ゾーン基地局で救済する「大ゾーン基地局」の取組みを行っている。KDDIでは沿岸部の災害を想定し、基地局を船に寄せ、災害地域の沿岸（海）から陸地に向けて電波を送信する「船上基地局」の取組みを行っている。

当社ソフトバンクでは係留気球に非再生無線中継装置（リピータ）を搭載し、アンテナを高い位置に揚げることで大きなサービスエリアを確保する「気球基地局」の取組みを行っている^{[1][2]}。

本稿では、当社の取組みとして世界に先駆けて開発した、係留気球を用いたLTE（Long Term Evolution）、W-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）対応の臨時無線中継システムの概要、及び実証実験結果を紹介する。

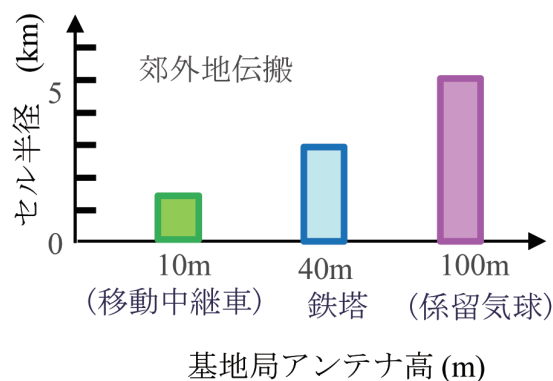
2. 気球無線中継システムの特徴

基地局のカバレッジエリアを拡大する技術として、基地局から離れた位置にリピータを設置し、基地局の電波をそのまま増幅して中継する無線中継方式がある。無線中継方式では一般に、リピータのアンテナ高を高くする程カバレッジエリアを拡大できる。

当社では災害時に大きなカバレッジを確保する方法として、アンテナ高を高く設置できる係留気球に着目し、リピータを係留気球に搭載する係留気球無線中継システムの検討を開始した。

まず、中継局アンテナ高とエリア半径の関係の一例を示

す。中継局アンテナ高が40mの時にセル半径が3kmである基地局において、アンテナ高を10mと低く設定した場合と100mと高く設定した場合のセル半径の推定結果を図1に示す。ただし、周波数を2.1GHz、伝搬損失推定式として“拡張坂上式”を用いて計算した^[3]。図より中継局アンテナ高を100mに設定すればセル半径を5km以上取れることが分かる。



■図1. 基地局アンテナ高とセル半径

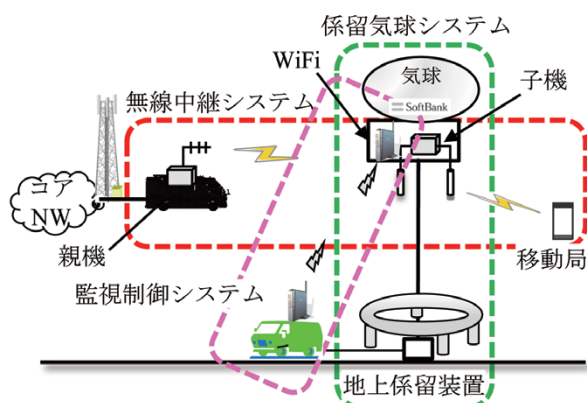
3. 係留気球無線中継システム構成

図2に開発した係留気球無線中継システムを示す^[4]。本システムは“無線中継システム”、“係留気球システム”、“監視制御システム”で構成される。以下に各システムを説明する。

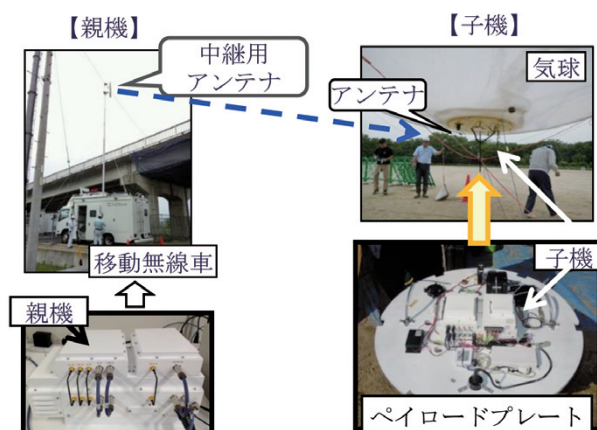
3.1 無線中継システム

本係留気球無線中継システムでは、気球に搭載する無線中継装置を極力軽量化するために、構成が簡易な非再生無線中継システム（リピータ）を採用した。非再生無線中継システムは図3に示すように中継元基地局（親機）と無線中継局（子機）から構成される。

本システムで採用した気球では、リピータの中継用アンテナと対移動局用アンテナの離隔距離を大きく取れない（1m以下）。そのため、同一周波数を増幅するリピータでは送受信アンテナ間の電波の回り込みが大きくなり、中継増幅器の利得を最大送信電力となるように設定できない。そこで本システムでは、中継周波数と対移動局周波数を異



■図2. 係留気球無線中継システムの構成



■図3. 無線中継装置システム

ならせることで電波の回り込みを回避し、最大送信電力で常時送信できる周波数変換リピータを採用した。

本中継システムはLTE、W-CDMAに対応している^[5]。特に、気球中継では搭載するアンテナの重量や設置位置に制約があり、送受信にそれぞれ2本のアンテナを用いる2×2MIMO (Multi-Input Multi-Output) を適用する場合にはそれらを考慮する必要がある。そこで、子機への対親機向け、中継エリア向けアンテナとして、共に一本のアンテナに水平面内無指向性の垂直偏波 (V偏波) と水平偏波 (H偏波) の2つのアンテナを共用させたV・H直交偏波共用アンテナを開発し、搭載した。

また、無線中継は昼夜を問わず連続で中継する必要がある。そのため、リピータへ連続した電源供給が不可欠である。本システムでは、子機に地上から電線を用いて直流電源 (DC) を供給する方法を用いて、長期間の無線中継を可能としている。

3.2 係留気球システム

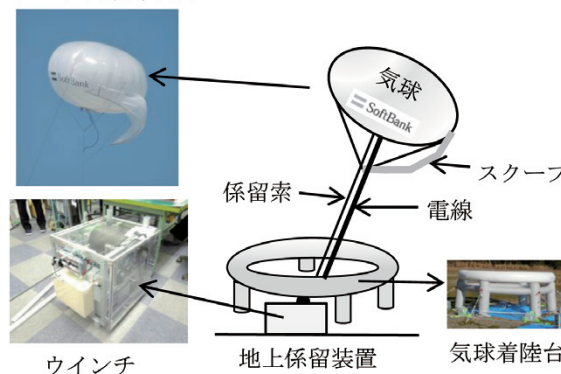
本係留気球無線中継システムでは、地上から1本の係留索で固定する一本係留気球を用いている。図4に係留気球システムを示す。係留気球は同図に示すように、気球本体と地上係留装置で構成される^[6]。

気球は風速、風向に対する安定性を向上させるために、スクープ (布) 付扁平気球を用いた。気球の大きさは直径5.2m、高さ3m、容積42m³で、不燃性のヘリウムガスを充填する。扁平気球本体は強度の高いナイロン製二重構造であり、気球外袋の内部にはヘリウムガス用内袋、空気袋を有し、加圧用ファンを備えている。気球外袋は、外部の衝撃や太陽光 (紫外線) から内袋を守るために用いている。この二重構造によりヘリウムガスが漏れることがなく、長期間の連続係留 (6か月以上) を可能としている。

扁平気球は風速が増大すると揚力が向上し、垂直方向の安定化が図れる。一方、スクープは常に風を孕むように動作し、横風に対して極めて高い安定性が保たれる。また、無線中継装置はペイロードプレート (図3参照) に搭載して気球の内側に収められ、アンテナのみが気球下部に露出していることから、風力に対する抵抗が小さくなる。これらの仕組みにより、本係留気球は風速20m/sの強風下においても安定して浮揚させることができる。

地上係留装置は気球着陸台とウインチで構成され、共に杭で地上に固定する。気球着陸台は形状がドーナツ状であり浮き輪と同様の構造で、空気ですその形状を維持する。一方、ウインチは気球を昇降させる係留索の巻き取り装置であり、昇降は電動モータで行う。地上係留装置により無人の長期運用に不可欠な気球の自動着陸を行うことを可能とした。

スクープ付扁平気球



■図4. 係留気球システム



3.3 電力供給・監視制御システム

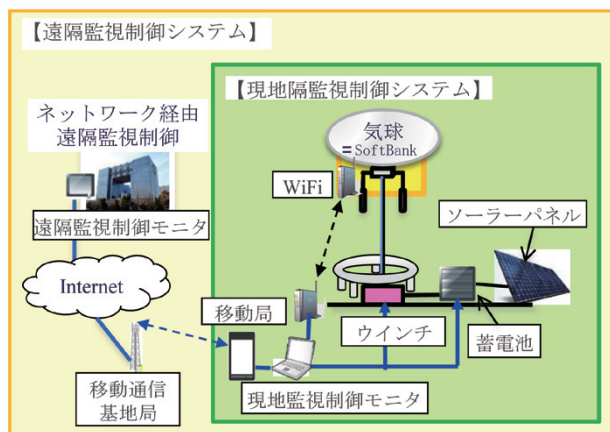
災害時には無線中継装置の長時間運用、及び現地での無人運用が期待される。そこで、現地での長時間無人運用を実現するために不可欠な電力供給・監視制御システムを開発した。本システムは、図5に示すように電力供給システム、自動昇降制御システム、現地及び遠隔監視制御システムで構成される^[7]。

電力供給システムは、ソーラーパネル、蓄電池及び非常用の発電機で構成される。蓄電池はソーラーパネルで発電した電力を蓄えとともに、各装置へ電力を供給する。蓄電池がフル充電されていれば、3日間の連続曇天でも電力を供給できる設計としている。

自動昇降制御システムは、ウインチを自律または遠隔制御することで気球の昇降制御を行う。気球の自律的な昇降を実現するために、線長センサ等の複数のセンサをウインチに取り付けて、それらの出力をもとに強風時においても安全に昇降させることを可能としている^[6]。

現地及び遠隔監視制御システムは、本システム全体の運用を監視制御する。上空に係留されている気球は風の影響を大きく受ける。許容できる風速を越えると気球を安全に係留できなくなるため、降下させるなどの対処が必要となる。そのため、監視制御システムでは上空の風速と無線中継装置の状態を遠隔で監視し、適宜制御する。なお、気球監視制御装置と地上監視制御装置間のデータ通信はWiFiで行う^[2]。

監視制御システムでは、現地での監視制御（現地監視制御）のみならず、移動通信網（LTE/W-CDMA）を介して遠隔地からの監視制御（遠隔監視制御）を行うことも可能としている。



■図5. 電力供給・監視制御システム

4. 係留方法

迅速及び長期間、広域の無線中継を実現するために、図6に示すように“陸上係留”、“船上係留”、“車載係留”の複数の係留方法を開発した^[4]。

係留気球無線中継システムの基本の係留方法は図6 (a) に示す被災地及びその周辺での地上係留である。一方、沿岸地域の被災地では地上に係留することが困難な場合がある。例えば、リアス式海岸地域では海岸線の起伏が非常に複雑であり、地上係留では広範囲にエリアを確保できないことがある。このような場合、図6 (b) に示すように船上に係留気球無線中継システムを設置し、海上から陸上に向かって無線中継することで沿岸地域に広範囲なエリアを確保できる。陸上係留、船上係留は基本的に同じ構成であり、現地到着後およそ4時間で無線中継を開始できる。

一方、被災地到着後1時間以内に迅速な気球の係留開始を行うため、図6 (c) に示すように車両に搭載する車載係留システム（気球格納箱）を開発した。気球格納箱内には気球着陸台とウインチが設置されている。トラックの荷台等に搭載された気球格納箱は係留地点に到着後、天井を収納し、側壁、後部壁を外側に倒し、箱の内部で気球を膨らませ、そのまま箱の上部から気球を上昇させる。気球に係留している間は元の箱幅に戻し、駐車スペース（省スペース）での係留が可能である。



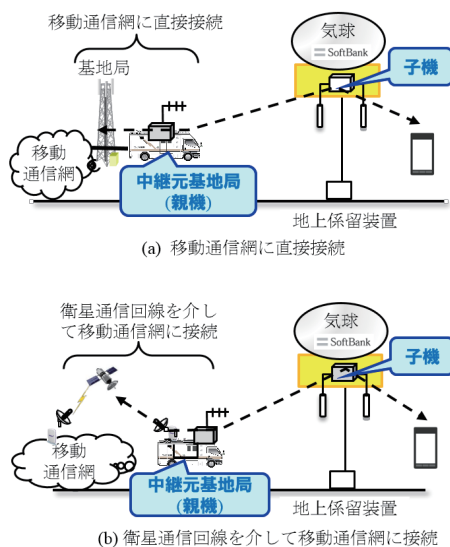
■図6. 係留方法

5. 利用形態

本係留気球無線中継システムは、親機と移動通信網の接続方法により図7に示すように2通りの利用を実現している^[2]。

図7 (a) は移動無線車に基地局装置と親機（周波数変換装置）を搭載し、基地局装置を移動通信網へ直接接続する方法である。この接続方法は通常の基地局と完全に等価であり、通信可能なユーザ数、データ通信速度は同じである。

一方、図7 (b) は移動無線車に基地局装置と親機（周波数変換装置）を搭載し、基地局装置を衛星通信回線経由

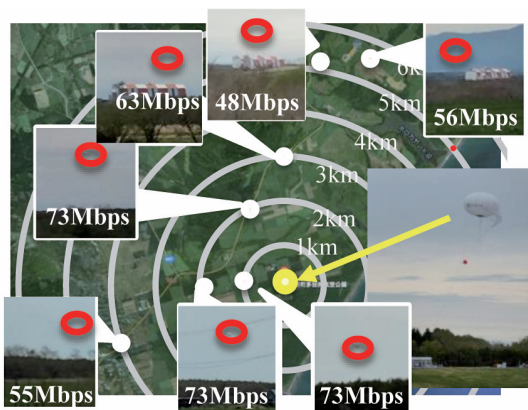


■図7. 利用形態

で移動通信網に接続する方法である。この接続方法は通信元となる基地局を探す必要がないため、被災現場で迅速に運用を開始できる。ただし、通信可能なユーザ数は衛星通信回線のデータ通信速度に依存する。

6. 実証実験

北海道・大樹町の航空公園周辺で、地上100mの高度に気球を係留し、実証実験を行った。中継無線周波数は1.5GHz帯、対移動局への無線周波数は2.1GHz帯、帯域幅は共に10MHzである。下り回線は2×2MIMOであり、対移動局の送信電力は1アンテナ5W（全10W）である。対移動局への最大通信速度は75Mbpsである。図7 (a) の移動通信網へ直接接続する方法で実施し、親機と子機間の距離は約1kmである。測定は送受信間が見通しとなる道路上等においてデータ通信の測定を実施した。



■図8. 実証実験結果

図8は、測定エリア内の様々な地点から撮影した係留気球及びその位置での通信速度(bps)を示す。今回の測定では、最大距離6km以内の地点でLTEを用いたデータ通信やVoIP (Voice over IP) による音声通話 (VoLTE: Voice over LTE) が利用できることを確認できた。

7. おわりに

本稿では、当社の災害対応の一環として開発した“災害時における係留気球を用いたLTE、W-CDMA対応臨時無線中継システム”の概要を紹介した。

無線中継装置の徹底した軽量化により、係留気球の小型化と地上係留装置の小型・軽量化を図り、設営時間の大幅な短縮を図った。また、衛星通信接続の開発により、被災現場での迅速な運用が可能である。その結果、陸上及び船上係留では被災地に到着後4時間程度で、また車載係留では被災地に到着後1時間程度で係留気球無線中継システムの運用を開始できる見通しが得られた。開発した係留気球は1か月以上の連続係留が可能であり、また風速20m/sの強風下においても安定して浮揚させることができる。

最後に、実証実験中に得た感想として、遠方から“係留気球”を発見すると不思議と安心感が得られる。大地震等で通信ができない被災地において、当社の“係留気球”を発見すると、少なくともその場所は移動通信が可能なエリアであり、ユーザに“つながる”安心感を提供できるものと期待する。

(2016年10月19日 ITU-R研究会より)

参考文献

- [1] 電波止めるな 携帯3社の災害対策 (下)
<http://www.nikkei.com/article/DGXBZO52650670Q3A310C1000000/>
- [2] 藤井輝也、他、“係留気球を用いた災害対応臨時無線中継システム”、信学技告、RCS2013-26, 2013.
- [3] 藤井輝也、“陸上移動伝搬における伝搬損失推定式－坂上式”の拡張－、信学論B、Vol. J86-B, No. 10, pp. 2264-2267, 2003.
- [4] 藤井輝也、他、“係留気球無線中継システムの高度化－システム概要－”、2015信学総大、B-5-59.
- [5] 太田喜元、他、“係留気球無線中継システムの高度化－無線中継システム－”、2015信学総大、B-5-60
- [6] 中島潤一、他、“係留気球無線中継システムの高度化－気球システム－”、2015信学総大、B-5-61.
- [7] 宮島春弥、他、“係留気球無線中継システムの高度化－監視・制御システム－”、2015信学総大、B-5-62.



Make Listening Safe

—Safe listeningに向けたWHOの取組み—



世界保健機関
健康開発総合研究センター
テクニカルオフィサー

よしの さとみ
吉野 智美



世界保健機関
視覚・聴覚障害予防、
障害・リハビリテーション課
テクニカルオフィサー

シェリー チャダ
Shelly Chadha

1. はじめに

携帯音楽プレーヤーやスマートフォンの普及により、ヘッドホンを使用して大音量で音楽を聴く人々が増えているのと同時に、映画館、コンサート会場、ナイトクラブ等のイベント会場における大音量により、特に若年齢層の音響外傷の危険が高まっている。

世界保健機関（WHO）の調査によると、世界で11億人の若者が騒音性難聴になる危険にさらされている。中高所得国の若者（12歳から35歳）の約50%が、携帯音楽プレーヤー等の使用により安全圏を越えたレベルの音量にさらされており、約40%はイベント会場における騒音により危険なレベルの音量にさらされている状況である。

2. 音響外傷の危険性

大音量を耳にすると耳の細胞に負担が掛かり、その結果一時的に耳鳴りがしたり聞こえが悪くなったりする。音楽のライブ会場を出た後に、耳が詰まったような閉塞感や耳鳴りを経験する場合があるが、聴力は傷ついた細胞が回復すれば元に戻る。しかし、非常に強い音にさらされた

場合や、日常的に、または長時間大音量を耳にすることにより、耳の細胞やその他の機能を永久的に傷つけてしまい、その結果として、不可逆的な難聴が引き起こされることがある。継続的なばく露は、難聴につながり最終的には生活の質の低下をもたらすことがある。若い時に安全な聴取に配慮しなかったことで難聴になり、その結果として晩年にコミュニケーションが難しくなることもある。

3. 安全なリスニングとは

安全なリスニングのレベルは、音量、時間及び頻度の3つの要素から構成される。この3要素を統合して、総ばく露量を考慮する必要がある、許容範囲基準は総ばく露量に基づいて定められている。非常に大きな音は数秒間耳にしただけでも、それより低音量を長時間耳にした場合と同レベルのダメージを受けることになる。（表）

安全の目安としては85デシベルで8時間までが安全基準内となり、より大きな音量であればさらに時間を短縮する必要がある。例えば、100デシベルの音量（地下鉄の通過音等）は、1日に15分までがさらされても安全なレベルで



World Health
Organization



■表. 安全とされているばく露量の目安

デシベル数	時間	例
120.0db	9秒	ブブゼラ
115.0db	28秒	ロックのライブコンサート
110.0db	1分30秒	耳で聞く大声
105.0db	4分	最大音量の音楽プレーヤー
100.0db	15分	車のクラクション（5mの距離で）、地下鉄、ドライヤー
95.0db	47分	中型オートバイ
90.0db	2時間30分	芝刈り機
85.0db	8時間	車の騒音
80.0db	25時間	目覚まし時計（60cmの距離で）

ある。表の基準を守ることで、音響外傷を防ぐことができるとされている。

安全なリスニングのためには、あらゆる対策が可能であり、個人、保護者、学校関係者、イベント会場のマネージャー、デバイスのメーカー及び政府等の様々なレベルでの対策が考えられる。個人では、まずは音量に配慮することが必要である。携帯音楽プレーヤーの使用については、静かな場所でイヤホン使用時に、周りの会話が聞こえる程度の音量、または最大音量の60%以下の音量であれば安全なレベルである。音量を少しでも下げること、聴力の保護となる。騒音に関しては、会話をする際に相手に聞こえるように声を大きくしないとならない場合や、腕を伸ばせば届く距離にいる人の声が聞き取りにくい場合には、基準以上の騒音があると考えられる。騒音が激しい場所では耳栓を使用したり、ノイズキャンセリング機能付きのイヤホンやヘッドホンを使用することも効果的である。

次に、時間に配慮することも重要である。ばく露量を減らすために耳に休憩を与える、音楽プレーヤー使用時間を許容基準に合わせて制限する、大音量を放っているスピーカーの騒音を避ける等の対策が考えられる。ほかにも、ばく露量を個人でモニタリングすることも効果的である。そのためには、安全なリスニングに関する正確な情報及び自身が使用しているデバイスの安全機能を把握することが必要となる。スマートフォンは、ばく露量を計測し音響外傷の危険をユーザー自身が認識するために有効である。スマートフォンのアプリを使用すれば、音量レベルを確認するとともにばく露量が危険なレベルに達したことを確認することが可能である。また、難聴のサインに留意することも大切である。耳鳴りがしたり、ドアベル、電話、アラーム等の高音、さらに電話による会話や周りが賑やかな場所

での話し声が聞こえにくい等の、難聴のサインに気がついた場合には、すぐに診察を受けるべきである。難聴の兆しを早い段階で認識するためには、定期的な健診も有効である。

保護者、教師及び医師については、安全なリスニングについての知識を子供たちに広める、ばく露量をモニタリングする、安全なリスニングのための見本となる行動をとること等が求められる。音楽ライブ、スポーツ関連、映画館等の騒音レベルが高い施設の責任者については、施設内の音響レベルの調整及びモニタリング、耳栓の配布や耳を休めるための休憩室を設置することで、頻繁に施設を利用する人々の安全に配慮することが求められる。音楽デバイスのメーカーについては、安全機能及び音響外傷の危険性についての警告を、製品と一緒に分かりやすく提供することが求められる。政府については、騒音に関する法律や条例の整備及び取締りを強化するとともに、啓発活動により騒音性難聴についての認知度を高めることが求められる。

4. 世界の対策例

2009年にEuropean Commissionは、個人用の音声再生機に規制を設けた。85デシベルを標準として最大音量は100デシベルまでとし、最大音量に設定する際には、難聴についての危険を注意するメッセージの発生が必要となった。ほかには、安全なリスニングに関する意識向上に向けた啓発活動が米国を中心に世界各地で展開されている。

- ・Listening To Your Buds : American Speech and Hearing Associationによる教育キャンペーン
- ・Dangerous Decibels : アメリカで始まった保健キャンペーンで、ばく露に関して子供たちと保護者の認識と



行動を変えることにより、難聴の発生率を低下させることを目的としている。

- ・ It's a Noisy Planet : Protect their hearing : アメリカ国立聴覚・伝達障害研究所が、小学校高学年とその保護者を対象に行っている、安全なリスニングについてのプロモーション。
- ・ Don't lose the Music : 音楽愛好者に向けて革新的なメッセージを発信することで、難聴対策として安全なリスニングの習慣を促している。
- ・ The ESIA Cheers for Ears : オーストラリアの耳科学研究所が、音響外傷の予防法を教育することを目的として主導している学校健康プログラム。

5. WHOの取り組み

2015年3月3日に世界聴覚の日を記念して、WHOは全ての人々が年齢にかかわらず聴覚を守りつつ音楽鑑賞を楽しむことができることを目標とし、Make Listening Safeイニシアチブを始動した。同イニシアチブは、危険なリスニングによる難聴のリスクを低減するために、テクノロジー、コミュニケーション、リスクアセスメントを含む研究の3つの分野に焦点を当て、目的として下記の5項目を設定している。(1) 国際パートナーシップの形成、(2) 安全なデバイスの基準設定、(3) テクノロジーを使用した安全なリスニングの啓発、(4) 安全なリスニングを広めるためのコミュニケーション戦略の作成、(5) 音響外傷を原因とする難聴に関する研究方法の確立。(図)

●テクノロジー

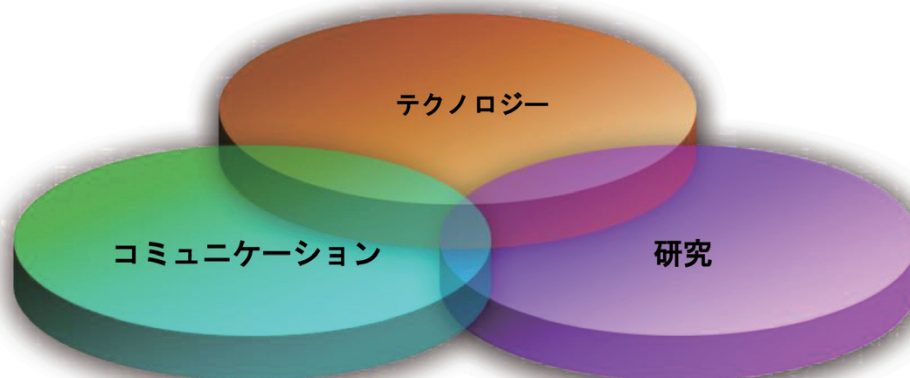
テクノロジーに関しては、2015年10月に、WHOと国際

電気通信連合 (ITU) の間で、安全なデバイスに関する会議が開かれ、ITUと他の組織との協力により、安全基準に適応した機器の基準を設定することが決められた。また、基準設定の過程を指導するために、ワーキンググループを設置することとなった。個人用オーディオ機器の安全基準の設定に関しての焦点は下記のとおりである。

- システムの開発及び音質の維持
- 相互運用性 (ユーザーの耳への負担の軽減が最重要課題であるため、あらゆるヘッドホンやイヤホンに対応する必要がある。)
- 最大音量の考慮 (国際電気標準会議 (IEC) や欧州電気標準化委員会 (CENELEC) の基準との適合についても検討)
- 音量と時間の計算によるばく露量のモニタリング
- 遮音、雑音の低減と消去
- 警告メッセージ、ばく露量の表示 (警告についてはデバイス、説明書、パッケージ及び広告への表示)

個人用音楽再生機については、携帯機器で個人の音楽及び音声再生用に使用されており、ヘッドホンやイヤホンを耳または耳の周りに装着して使用するもので、外出時に持ち歩いて使用される機器と定義された (大きさに関しては、厳密には服のポケットに入る程度の大きさとの定義)。CDプレーヤー、MP3プレーヤー、音楽再生機能付きの携帯電話や携帯情報端末機等が含まれる。

2016年6月には、安全なリスニングの標準化に関するワークショップが、ジュネーブのITU本部で開催され、ITU標準化部門研究委員会 (SG) 12と16のメンバー、WHO職員、各国政府関係者、関連産業及び研究の分野等から多くの参加者があった。このワークショップでは、安全なリスニ



■図：Make Listening Safeイニシアチブの3つの柱



ングのために、個人用音楽プレーヤー（及び装着用の聴覚デバイス）の標準化について検討された。また、既にどの地域で標準化に向けての動きが始まっているか、どのように適応されているかに加えて、技術面における動き、あらゆる組織が情報交換しながら協力して標準化の動きを進めていくための方法についても話し合われた。さらに、個人ユーザーレベルにおいて安全に関する認識を高めてもらうことの必要性及びそのための啓発活動の方法についても議論された。

標準化に向けての取組み以外には、一定の期間にさらされた音響レベルをモニタリングし、危険を警告するためのアプリケーションの開発にも取り組んでいる。同アプリの開発は、WHOとドイツのHortech大学との共同で進められており、アプリが市場に出る前の最終試験については、ワーキンググループがモニタリング及び評論を行う。現在、アンドロイド用のアプリの開発が進んでおり、試験及びその評価を経て2017年初旬に市場にリリースされることが予定されている。

●コミュニケーション

ユーザーの態度と行動を変えることが、Make Listening Safeイニシアチブで一番重要であり鍵となる。そのためのコミュニケーション戦略は、エビデンスに基づきあらゆる行動を考慮する必要がある。WHOは、ワーキンググループを設置し専門家の協力のもと、安全なリスニングについての意識の向上に向けて、コミュニケーション戦略及び効果的な警告についてのメッセージを検討している。その基礎となる調査が間もなく終了し、調査結果及び専門家のアドバイスを基にコミュニケーション戦略を作成する。

●リスクアセスメント・研究

大音量の音楽の危険性及び聴覚への影響を明確化することは難しく、WHOとしては2つの提案をしている。現在、職業を原因とする騒音性難聴を示す基準が、レクリエーションによる音響性外傷のアセスメントにも使用されている。しかし、職場における騒音とレクリエーションで聴く音楽は質が異なっているため、同様の基準を使用することが適しているか、別の基準を作成する必要があるかの検討が必要である。

またWHOは、レクリエーションで大音量にさらされる危険性についてのアセスメントの基準化を目指している。この基準の設定により、定義及び測定方法を統一することで、各研究で使用されるデータの比較が可能となる。

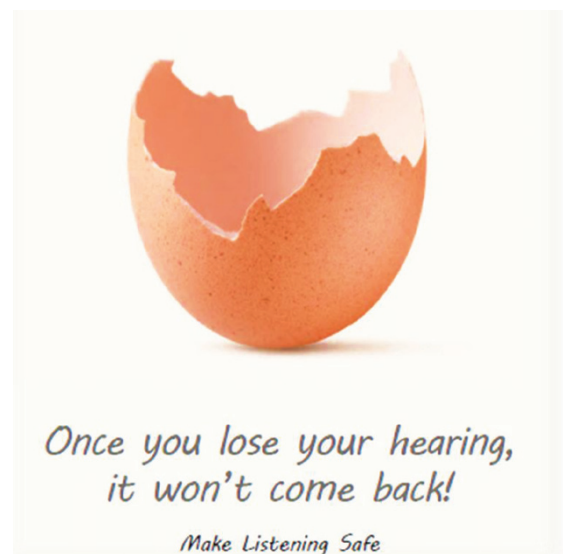
6. おわりに

聴覚は貴重な機能であり、音響外傷が続くと内耳が回復不能なダメージを受ける。音響外傷は難聴へとつながる危険があり、結果として生活の質に影響を及ぼしたり、医療費の負担増加にもつながることとなる。安全なリスニングを心掛けることで音響外傷は予防可能であり、安全なリスニングについて、若年齢層への啓発活動を中心としたさらなる対策が必要である。

本稿は下記の文献の内容及びWHOのSafe Listeningに関する取組みを日本語で取りまとめたものである。

参考文献

- [1] Make Listing Safe. Geneva : World Health Organization ; 2015 (http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/177884/1/WHO_NMH_NVI_15.2_eng.pdf?ua=1&ua=1, accessed 16 August 2016)
- [2] Hearing loss due to recreational exposure to loud sounds : A review. Geneva : World Health Organization ; 2015 (http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/154589/1/9789241508513_eng.pdf?ua=1&ua=1, accessed 16 August 2016)





脆弱機器を模擬したおとりシステムによるIoTのセキュリティ現状把握

横浜国立大学大学院 環境情報研究院 先端科学高等研究院 准教授

よしおか かつなり
吉岡 克成



1. はじめに

ネットワークを通じて様々なモノが接続し、それらから得られる情報が新たな価値を生み出す新しい情報社会の形としてIoT (Internet of Things) が注目されている。既に、時計やメガネといったウェアラブル機器、情報家電やスマートメーター、ビル制御システム、自動車や交通インフラ、各種センサ、監視カメラ、工業制御システム、医療機器、放送システム、その他多種多様な機器や情報通信インフラがネットワーク接続されており、いわばIoTの黎明期とも言える状況となっている。一方、これまでのインターネットの発展とそれに伴うサイバー攻撃の増大の歴史が示すとおり、高い価値の創出は、それを奪取したり、操作したり、破壊しようとする不正な試みを誘引する。今後、IoTが生み出す新たな価値が高まるにつれて、このような脅威はさらに増大していくと予想される。

本稿では、既にインターネットに接続されている多種多様なIoT機器のセキュリティの現状を把握するための観測技術と、それらの技術を用いた観測結果について解説する。次章では、まずIoTの現状とIoT機器のセキュリティに関するこれまでの先端研究や報告事例について紹介する。次に3章では、脆弱なIoT機器を模擬したおとりシステムであるハニーポットによるサイバー攻撃の観測技術とその観測結果について説明する。

2. IoTの現状とIoT機器のセキュリティに関する研究事例

IHS社の試算^[1]では、2015年の時点でインターネットにつながるモノ (IoT機器) の数は既に約154億個であり、2025年までに約754億個まで増大すると推定されている。一方、シスコ社^[2]によると、99%以上のモノは未だにインターネットに接続されていないとされており、IoTの潜在的な裾野の広さを示している。例えば、製造業等の産業分野では、生産ラインにおける各機器からのログ収集分析による効率化が進んでいる。また、エネルギー、交通、物流等の社会インフラ分野でも、センサやモニタによる施設管理、物流管理、故障予測などが行われている。家庭用としても、照明の操作、火災報知器や情報家電との連動から、歯ブラシ、コンタクトレンズからデータ収集を行うもの

で広く開発が進められている。これらの機器が連動することにより利便性の向上や省エネ、災害検知を実現するスマートホーム、社会インフラとも連携したスマートシティ構想などが世界中で進められている。

このようにIoTの実現形態としてとらえることができるシステム、サービス、取組みは既に様々なものがあるが、以下では、これまでに発生しているセキュリティ問題の事例や機器の脆弱性に関する先行研究について説明する。

近年の自動車は、内部の多数のECU (Electronic Control Unit) が車載ネットワークを通じて通信することで走行や車内装置の制御を行っており、自動車に対するサイバー攻撃は長い間懸念されてきた。2011年には実車に対して携帯電話回線等を用いて遠隔から侵入しこれを制御できることが発表され^[3]、2015年には同様に実車に対して完全に制御を奪えることが実証され^[4]、140万台のリコールへと発展した。

産業制御システムへのサイバー攻撃として2010年に発見されたスタクスネット^[5]がイランの核燃料施設に侵入し被害を与えた事例が特に知られている。その後もドイツの製鉄所制御システムが不正侵入により損傷を受けたり、2015年末には電力会社の関連設備への侵入によりウクライナ西部において大規模な停電が発生するなど^[6]、サイバー攻撃を原因とする産業制御システムの事故が発生している。

ドローンは様々な応用が期待される無人航空機であるが、既に多くのハッキング事例が存在する。一例として、RSAカンファレンス2016で発表された事例^[7]では、オランダ警察が使用する監視用ドローンの制御を乗っ取ることに成功している。

医療機器の中には病院内のネットワークに接続するものも多く存在する。これらの機器がマルウェア感染した事例が複数存在する。例えば、米国ボストンの病院において胎児モニタ装置にマルウェア感染した事例や、国内でも金沢大学附属病院においてUSBメモリ経由で多くの医療機器がマルウェア感染した事例がある^[8]。また、インスリンポンプやペースメーカーといったインプラント型医療機器についても不正に操作を行うことができる脆弱性が複数発見されている^[8]。



国内の大学等教育機関においてインターネットとつながる複合機やプリンタの内部データ（印刷物等のデータ）が、外部からアクセス可能な状態となっているケースが多数発見されている^[9]。また、監視カメラ、Webカメラの中には適切にパスワード等のアクセス制御が設定されておらず、任意のユーザから閲覧可能となってしまうものが多数存在していることが知られている^[10]。

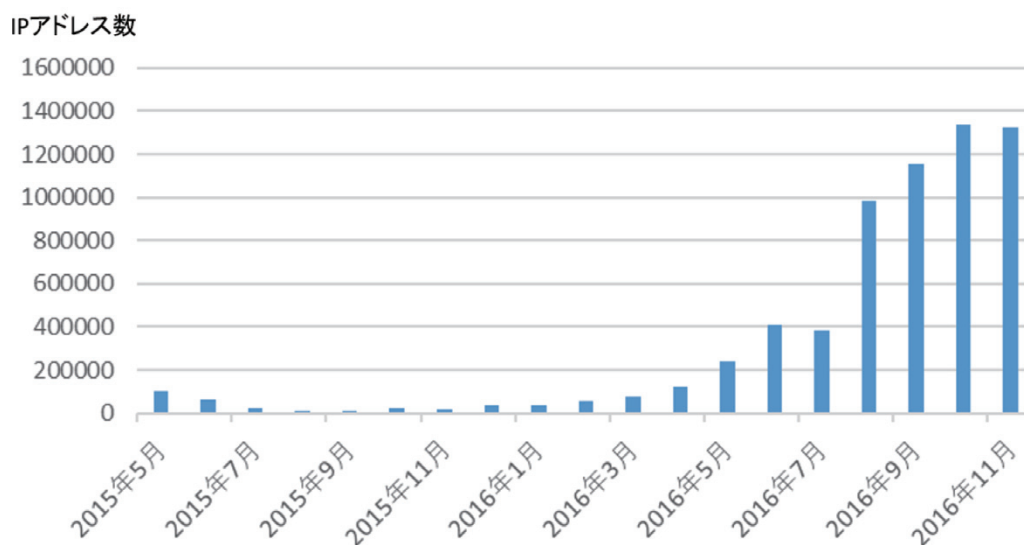
3. 脆弱機器を模擬した罠システムによるIoTにおけるサイバー攻撃の観測

インターネットに接続されている機器の中には、これらの機器上で動作する遠隔操作用のプログラムであるTelnet経由で、容易に推定可能なパスワードを用いてログインできるものが多数存在する。2012年には、匿名の自称セキュリティ研究者により上記を含む脆弱な機器を大量に乗っ取り操作することで、インターネット上で動作するホストの大規模探索実験^[11]が行われ問題となった。これらのサイバー攻撃を調査するため、横浜国立大学情報・物理セキュリティ研究拠点では、2015年よりサイバー攻撃に対して脆弱なIoT機器を模擬した罠システムであるハニーポットを用いた観測を実施している^[12]。ハニーポットは、脆弱な機器において動作していることが多いネットワークサービス、例えば、前述のTelnetや機器の設定を行うためのWebインタフェースなどを模擬する通信プログラム群（フロントエンド）と、フロントエンドが応答する内容を学習

するための脆弱機器（バックエンド）からなる。フロントエンドに割り当てるIPアドレスは、国内外のものを用いることで様々な地域におけるサイバー攻撃を観測する。バックエンドは実際に脆弱な機器群（実機）と仮想マシンを組み合わせて実現している。攻撃者が遠隔からハニーポットが設置されたIPアドレスにアクセスすると、これらのフロントエンド及びバックエンドが連動して応答し、あたかも脆弱なIoT機器が動作しているかのように振舞うことで攻撃の詳細を観測し、攻撃元となっている不正プログラム（マルウェア）を収集する。ハニーポット技術の詳細については文献(12)を参照いただきたい。

図1にハニーポットにより観測された攻撃元ホスト群のIPアドレス数の月ごとの推移を示す。

ハニーポットにアクセスしてくる攻撃元ホストは2015年から既に高い水準であったが、特に2016年の3月以降に急増し、その5か月後にはさらに倍増し、130万IPアドレスを超えている。ハニーポットは正規ユーザが存在しない罠のサービスであり、もしサイバー攻撃等の不正なアクセスがなければ本来的にはアクセス数はゼロになるはずであることを考えると、いかに多くの攻撃元ホストが脆弱なIoT機器を狙って攻撃を行っているかが分かる。詳しくは後述するが、これらの攻撃元ホスト群の実体は、攻撃者に乗っ取られて操られている脆弱なIoT機器群であり、これらの機器は他の機器に攻撃を行っている点で加害者である一方、真の攻撃者によって侵入を受けて不正に操られているとい

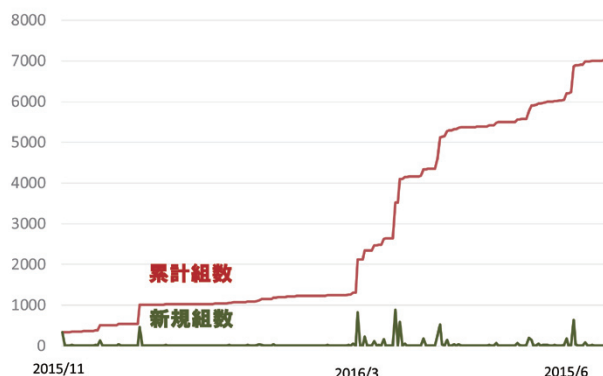


■図1. ハニーポットにより観測された攻撃元ホストの月別IPアドレス数の推移



う意味で被害者でもある。したがって、ハニーポットへの攻撃ホスト数の増加は、マルウェア感染した機器の増加を意味する。詳細は割愛するが、2016年8月以降の攻撃ホストの急増はMiraiと呼ばれるIoTマルウェアによる活動が活発化したことが関係している。Miraiのソースコードが公開され、多くの攻撃者がこれを利用できる状況となったことから、本原稿執筆時点でもMiraiに派生したマルウェアに感染した機器からの攻撃が特に多くなっている。

IoT機器への攻撃は多様化を見せているものの、現時点では前述のTelnetを狙った攻撃が最も多い。Telnetはアクセス時にIDとパスワードによる認証が必要であるが、多くのIoT機器は推測が容易なIDとパスワードが設定されており、機器使用者はTelnetの存在すら気付かずに機器を使用しているため、攻撃者やマルウェアはこの不備について機器に侵入し、様々な不正活動を行う。図2にハニーポットにより観測された攻撃者が用いるIDとパスワードの組の種類数の推移を示す。図2から分かるとおり、攻撃に使われるIDとパスワードの推計組数は2016年の3月以降増加傾向が顕著であり、この時期以降により多くの機器がサイバー攻撃の対象となっていることが分かる。また、図1と比較すると、攻撃元IPアドレス数の増加、すなわち、感染機器数増加の時期と一致していることが分かる。



■図2. 攻撃に使用されるIDとパスワードの組の種類数の推移

上記の観測は、IoT機器を狙った攻撃の増減傾向や攻撃内容を把握する上で有益であるが、ハニーポットに対するアクセス元、つまりマルウェア感染機器の種類を特定することはできない。そこで、ハニーポットにアクセスしてきた攻撃元ホスト（感染機器）上で動作するサービスに対してハニーポット側から通信を行い、その応答から感染機器を推定する。特にTelnetやWebインタフェース（機器の管理画面）の応答には機器を特定するための情報が含まれている場合があるため、これらの情報をシグネチャとして登録し機器推定を行う。図3はハニーポットに攻撃をして

・ 監視カメラ等 － IP カメラ － デジタルビデオレコーダ ・ ネットワーク機器 － ルータ・ゲートウェイ － モデム、ブリッジ － 無線ルータ － ネットワークストレージ － セキュリティアプライアンス ・ 電話関連機器 － VoIPゲートウェイ － IP電話 － GSMルータ － アナログ電話アダプタ ・ インフラ － 駐車管理システム － LEDディスプレイ制御システム	・ 制御システム － ソリッドステートレコーダ － インターネット接続モジュール － センサ監視装置 － ビル制御システム ・ 家庭・個人向け － Webカメラ、ビデオレコーダ － ホームオートメーションGW － 太陽光発電管理システム － 電力需要監視システム ・ 放送関連機器 － 映像配信システム － デジタル音声レコーダ － ビデオエンコーダ/デコーダ － セットトップボックス・アンテナ ・ その他 － ヒートポンプ － 火災報知システム － ディスク型記憶装置 － 医療機器 (MRI) － 指紋スキャナ
---	--

デバイスはWeb及びTelnetの応答から判断

■図3. ハニーポットに攻撃をしてきた感染機器一覧



きたと推定される感染機器の一覧である。特に件数が多い機器は、ネットワークカメラ、ルータ、デジタルビデオレコーダである。また件数は少ないものの、ビルの空調や照明の制御機器、医療機器（MRI）、火災報知システム、太陽光パネル制御機器、電力需要監視装置といったように不具合が発生すると重大な損害が発生し得る重要な機器も観測されている。

マルウェアに感染した機器は、攻撃者に操作され様々なサイバー攻撃に悪用される。我々はハニーポットにより収集したマルウェア検体を実際のIoT機器や疑似解析環境において実行し、その動作を観測することで感染機器の悪用の実態についても分析を行っている。最も頻繁に観測される悪用の事例としては、他の機器に無作為に接続を試み、さらに感染を広げる「感染活動」と、企業等のWebサイト等に対して大量の感染機器で同時にアクセスし、サイトを閲覧しにくくするといった「サービス妨害攻撃」の実施である。特に後者については過去最大規模の分散サービス妨害攻撃がIoT機器を悪用することで行われている^[13]。

4. おわりに

本稿では、IoT機器のセキュリティに関するこれまでの先端研究や報告事例について紹介するとともに、脆弱なIoT機器を模擬した囲システムであるハニーポットによるサイバー攻撃の観測技術とその観測結果について説明した。黎明期と言えるIoTにおいて既に大量のサイバー攻撃が発生しており、マルウェア感染事例が多数発生している根本的な原因としてIoT機器のセキュリティレベルが低いことが挙げられる。Telnetのように不必要な通信プログラムが残存していたり、脆弱な認証により容易に管理者権限でアクセスが可能であるといったような初歩的なセキュリティの問題を多くの機器が有している。また、このような現状が明らかとなっても、IoT機器の製造者が業種地域共に多様であることから、問題の周知や対策が徹底しにくいという問題もある。サイバー攻撃を行う攻撃者にとってIoTは格好の標的となっており、これを悪用した攻撃は今後も増加、多様化することが予想されるため、IoTの様々な領域において個々の製造者、利用者を越えた連携による対策が必要と言える。

文献

- [1] IHS Technology, “IoT platform : enabling the Internet of Things,” White Paper, 2016. <https://technology.ihs.com/576272/iot-platforms-enabling-the-internet-of-things>
- [2] Cisco, “Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion,” White Paper, 2013.
- [3] Stephen Checkoway, Damon McCoy, Brian Kantor, Danny Anderson, Hovav Shacham, Stefan Savage, Karl Koscher, Alexei Czeskis, Franziska Roesner, Tadayoshi Kohno, “Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces,” USENIX Security Symposium 2011.
- [4] Charlie Miller, Chris Valasek, “REMOTE EXPLOITATION OF AN UNALTERED PASSENGER VEHICLE,” Blackhat USA 2015.
- [5] 小熊信孝, “Stuxnet-制御システムを狙った初のマルウェア” JPCERT/CC, <http://www.jpcert.or.jp/ics/2011/20110210-oguma.pdf>
- [6] “電力分野のサイバーセキュリティ対策について” 資源エネルギー庁、2016。 http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/kihonseisaku/pdf/004_06_00.pdf
- [7] Nils Roddy, “Hacking a Professional Drone,” RSA Conference 2016, https://www.rsaconference.com/writable/presentations/file_upload/ht-w03-hacking_a_professional_police_drone.pdf
- [8] 医療機器における情報セキュリティに関する調査、情報処理推進機構、2014。 <https://www.ipa.go.jp/files/000038223.pdf>
- [9] “ネット接続の複合機など、データ丸見え 大学など26校,” 朝日新聞、2016。
- [10] “IoTマルウェア大量感染の現状と対策,” 日経コンピュータ、2016。 https://bizboard.nikkeibp.co.jp/kijiken/summary/20160901/NC0920H_3454979a.html
- [11] Internet Census 2012, <http://internetcensus2012.bitbucket.org/paper.html>
- [12] IoTPOT : Analysing the Rise of IoT Compromises、横浜国立大学情報・物理セキュリティ研究拠点、<http://ipsr.ynu.ac.jp/iot/>
- [13] BIT DIFFENDER, “DDoS attack by massive IoT botnet takes down Krebs on Security” HOT FOR SECURITY By BIT DIFFENDER, 2016. <https://www.hotforsecurity.com/blog/ddos-attack-by-massive-iot-botnet-takes-down-krebs-on-security-16742.html>



「不完壁」なデータセンターとスーパーコンピュータを目指そう

国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 准教授

こいぶち 鯉渕
みちひろ 道紘



1. はじめに

1.1 計算の質の変化

スーパーコンピュータ（以後、スパコンと呼ぶ）とデータセンターにおいて、先進的な大規模アプリケーションの主流が、物理法則などの理論に基づく厳密さが要求される古典的な大規模計算から、ビッグデータ解析、人工知能、脳などの大まかに判断するというコンピュータが苦手とする領域に変化しつつある。

この変化は、コンピュータの設計に大きな影響を与えつつある。具体的には、許容誤差を若干大きくすることで計算の精度を落とし消費電力を削減、ハードウェアのスループットを向上させるApproximate Computingが注目されている。概算については、多くのディープラーニング系の計算をプロセッサの倍精度演算ではなく、半精度演算で行っても結果の大勢に影響しないことが報告されている。

従来、計算と情報の表現の精度はソフトウェア、ハードウェアの設計において悩みの種であった。コンピュータは数値を近似して表現（例：数0.110進は0.0001100 [1100] 2進で丸め）し、複数のプロセッサがハードウェアレベルで非決定的な順序により共有変数にアクセスするため、計算結果の潜在的誤差を完全に除去することが難しい。さらに厄介なことは、コンピュータのソフトウェアエラーである。ソフトウェアとは、ハードウェアの故障による恒久的なものではなく、メモリに格納されているデータなどの一部のビットが、反転（0↔1）してしまう不良が非決定的に発生する不具合である。現在のスパコン、データセンターのコンピュータには様々なソフトウェアエラーを検出訂正する機構が搭載されているが、現実的なハードウェア/ソフトウェアコストで、この不良から完璧に回復することを保証することは難しい。つまり、アプリケーションの実行が強制終了とならず、しかし、アプリケーションの計算結果が変造されることが起こる。この従来のコンピュータでは悩みの種を放置することが、Approximate Computingでは性能向上の糧となる。

1.2 ムーアの法則に従ったコンピュータの性能向上の終焉

コンピュータシステムの性能を向上させるためには、(1) プロセッサ単体の性能向上と(2) より多くのプロセッサを相互接続して1つのシステムを構成する並列化という2つの方向性がある。これまでの大規模コンピュータシステムは、この2つの方向性をうまく組み合わせることで急激な成長を達成してきた。例えば、スパコンは10年で1,000倍近い性能向上を達成している。しかし、(1) については、ムーアの法則が終焉し、コンピュータ機器の単純な性能向上が見込めなくなる時代が約10年後に迫る危機に直面している^[1]。(2)についても並列化/巨大化の限界が見えている。例えば、最新のスパコンは、数百万プロセッサコア規模、消費電力が数百万ワット、そのネットワーク配線が1,000kmに達する。スパコンをさらに100倍大きくすることは難しいであろう。さらに、数百万並列で動作し、性能向上が見込める^{*1}大規模アプリケーションの種類は限定されるであろう。よって、コンピュータの高速化を進めるためには、従来とは違う設計手法の確立が急務である。

1.3 本稿の狙い

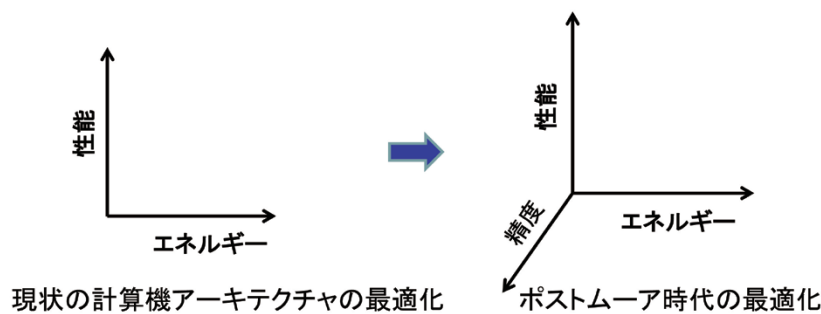
本稿では、今後先進的なアプリケーションが要求する計算結果の精度が従来と比べて緩和されることを利用し、従来のムーアの法則に頼らずともコンピュータの性能向上が実現できることを示す。つまり、Approximate Computingの探求である。コンピュータを設計する上で、従来は電力と性能の2軸を最適化していたが、将来は、加えて精度という3軸で最適化することになる（図1）。すなわち、今後、いい加減さ（時々計算を間違える不完壁さ）を許容することで、コンピュータとネットワークの性能が大幅に向上することが可能である。

著者らは、この視点を特にネットワークに向けたい。現状、スパコンとデータセンターのネットワークではソフトウェアについて標準規格があり、厳密に守られているため

*1 並列処理の分野では、N台のプロセッサでアプリケーションがN倍高速に動作する性能向上を「強スケーリング」、同様にN倍大きな問題の計算が完了する性能向上を「弱スケーリング」と呼び、性能向上の指標としている。ここでは、どちらかを満たせばよいという意図で用いている。



	今	将来
大規模アプリケーション	科学技術演算	ビッグデータ解析、AI/脳
計算機アーキテクチャ	性能/電力効率探求	加えて、いい加減さを探求
回路設計	ムーアの法則による性能/ 電力性能比向上	チップ単体の性能向上が困難



■図1. 大規模コンピュータ設計とアプリケーションの推移

Approximate Computingの考え方に基づく研究開発は見られない。例えば、イーサネットの規格では 10^{-12} のビット誤り率^{*2}を定めている。スパコンで頻繁に用いられるInfiniBandにいたっては 10^{-19} で動作している。つまり、その高信頼性を確保するために、多大なコストを払い、また、自らが性能限界を作っているとも言える。著者らは、この標準規格から逸脱することで数倍～10倍の通信帯域の増加と、大幅な通信遅延の低下を見込んでいる。

2. Approximateネットワーク： 多少の誤りを放置しよう

最近のスパコンとデータセンターのネットワークは、光ケーブルと電気スイッチを用いて構成される。リンク帯域向上の需要が著しいため、光通信チャネルの変調フォーマットとして、スペクトル効率の高い直角位相振幅変調 (QAM) などの高度なフォーマットの使用が見込まれる。しかしこの場合、ビット距離が近くなるため信号対雑音比耐性が低下し、FEC (Forward Error Correction) によるエラー検出訂正を導入せざるを得なくなる。報告^[2]によると、データセンターを対象とした25Gbps光通信において、FECの導入により、1リンク通過あたり100ナノ秒の遅延を見積もっている。この見積りは、誤りを訂正するための処理遅延がネッ

トワークの通信遅延の支配的要因になることを警鐘している。大規模アプリケーションの実行では並列処理のための通信機構が性能向上の鍵となるため。誤り検出、訂正が致命的にシステム全体の性能低下を招くことが生じる^[3]。

そこで、著者らはデータの価値と伝送の確実性を比例させることで大幅な高帯域課と低遅延化を実現するApproximateネットワークを提案する。すなわち、誤差を許容し、誤り率を可変化することで、物理限界に迫る高密度な情報伝送を目指している。スパコンではこの「いい加減さ」を許容することで図2に示したApproximateネットワークによる性能向上が可能である（詳細な議論、解析は[3]に任せる）。

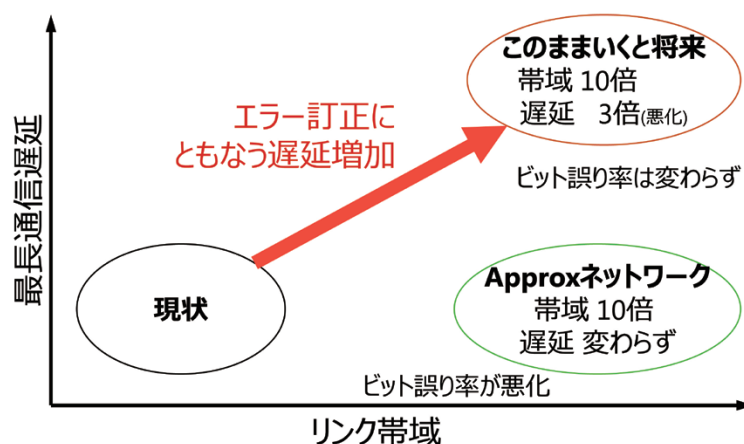
3. 多少の誤り放置によるアプリケーション性能の向上

Approximateネットワーク上のアプリケーションは、計算の精度について重い責任を持つことになる。ここでは、そのアプリケーション設計の2つの方策を述べる。

3.1 完全誤り放置型

1つ目の方策は、確信犯的にソフトエラーを放置することである。ソフトエラーが生じた場合でもそのまま計算処理を続行する。

*2 平たく述べると、誤ったデータの受信確率



■図2. スパコンの通信遅延、リンク帯域、ビット誤り率の関係

著者らは文献 [3] において、スパコンで頻繁に用いられる2種類（フーリエ変換、共役勾配法）、ビッグデータ処理で頻繁に用いられるK-平均クラスタリングアルゴリズムを対象に解析と拡張を行い、Approximateネットワークの有効性を示した。具体的には、ビット誤り率が 10^{-5} と極めて悪いネットワークにおいて、共役勾配法では一部の通信において、浮動小数点数値を表現する64ビットのうち、上位16ビットのみを保護することで正しい解が得られた。つまり、下位48ビットは誤りを放置することが可能である。同様に、フーリエ変換、K-平均クラスタリングアルゴリズムについても十分な精度の解が得られた。そして、スパコンのシミュレーション結果より、Approximateネットワークを用いることにより、最大3倍のアプリケーションの性能向上が達成できることが報告されている^[3]。

3.2 Algorithm-Based Fault Tolerance (ABFT)

2つ目の方策は、アプリケーションによる「(誤りの) 気付き」に期待する方法である。多くのアプリケーションでは、実行中に計算途中のデータが取得可能な値かどうか、簡単な検算で判断することが可能である。そこで、検算結果から、許容誤差を越えた場合は、その計算を途中からやり直す。この方策は、従来ハードウェアが担っていた耐故障技術（チェックポイントやエラー検出/訂正）を用いずに、アプリケーションのアルゴリズムによって信頼性を担当することから、アルゴリズムに基づく耐故障技術(ABFT)と呼ばれる。

ABFTは、Approximateネットワークが提供するビット誤り率よりも高い処理精度がアプリケーションに必要な場合、必須と言える。理想的には、ABFTでは何度でも検算し、再実行すれば有限時間内に必要な精度の解が得られ

る。

完全誤り放置型と同様に、Approximateネットワークは、元の精度の高いネットワークと比べて、共役勾配法と行列計算について倍近い高速化を達成することが報告されている^[3]。

なお、2つの方策のどちらが良いのか?という議論については、ケースバイケースであり、現時点で統一的な見解を著者らは得ていない。

4. その他の議論

4.1 アナログコンピュータの可能性

計算の精度を落とすという発想は、直感的にアナログコンピュータの復活を彷彿させる。事実、ニューラルネットワーク処理の一部の演算を、100MHzなどの低速で動作する特殊なアナログアクセラレータを用いることで、現状比数百倍の高速化と電力性能比の向上を達成する研究などが、コンピュータアーキテクチャ分野の研究をリードするトップ国際会議ISCA (International Symposium on Computer Architecture)、MI-CRO (International Symposium on Microarchitecture) などで近年発表され、注目を浴びている。

「デジタル処理」は0と1の間に十分にマージンがあるように閾値を決め、回路のノイズの影響を抑えることで安定的に高信頼な計算を可能としている。ただし、このマージンを削減することで伝送効率を向上させることができる。このマージンを小さくするにしたがって、アナログ処理に近い特徴が現れる。そして、「アナログ処理」は理想的には無駄なく信号処理ができるという点で（信頼性は低くとも）実行効率が高いと言える。



しかし、著者らは、アナログ回路がApproximate Computingを実現する中心的な役割を担うとは現時点では考えていない。これは、「アナログ回路を多数接続した大規模コンピュータを正しく制御できるのか？」あるいは「そもそも、設計段階で大規模なアナログ回路の検証を十分に行うことができるのか？」とまだ課題があると考えているためである。なお、著者らが提案するApproximateネットワークは、高効率のデジタル多値変調を用いるが、アナログコンピューティングではないことを申し添える。

4.2 限界

前章で述べた通り、Approximate Computingは、アプリケーションのデータ処理の精度を落とすことで性能向上を実現する。つまり、銀行オンライン処理、企業の業務基幹系処理、果ては宇宙ロケットの軌道計算など絶対に誤りが生じてはいけなコンピュータ処理に向かない。理想的にはABFTを用いることでこれらの処理系をApproximate Computingに用いることは可能であるが、誤りをその都度完璧に検出し、正しい結果が得られるまで再実行することになるため、効率が悪い。あくまで著者らは、Approximate Computingとしてビッグデータ解析、人工知能、脳などの、大まかに判断するという先進的な大規模アプリケーションでの利用を想定している。

5. おわりに

ムーアの法則+ α によるコンピュータの性能向上（例えばスーパーコンピュータは10年で1,000倍弱）が数十年続いてきた結果、その性能向上の継続が他分野、他業種にも知れ渡るマイルストーンであり続け、社会的要請になっている。

しかし、ムーアの法則の終焉が近づき、従来の設計方法では、コンピュータの性能向上の継続が困難となる可能性が高い。そこで、本稿では先進的アプリケーションの質的な変化に注目し、コンピュータ性能の成長戦略を示した。この質的变化とは、先進的な大規模アプリケーションの主流が、物理法則などの理論に基づく厳密さが要求される古典的な大規模計算から、ビッグデータ解析、人工知能、脳などの、大まかに判断するというコンピュータが苦手とする領域へ進むというものである。

このアプリケーションの変化により、コンピュータを設計する上で従来は電力と性能の2軸を最適化していたが、将来は、加えて精度という3軸で最適化することになる、現状、データセンターやスパコンのネットワークでは、ソフトウェアの発生確率、つまりビット誤り率について標準規格があり、厳密に守られている。現状のこの精度に関する標準規格から逸脱することで数倍～10倍の通信帯域の増加と、大幅な通信遅延の低下が見込め、その結果、フーリエ変換やK-平均クラスタリングアルゴリズムの実行速度が2～3倍向上する。

本稿では大規模アプリケーションの計算の精度に焦点を当て議論を行った。一方、世の中の大規模アプリケーションには入力データ自体の精度がそもそも低いものが多く存在し、計算の精度に関わらず複数の実行解を許容するものが散見する。例えば、センサーデータやノイズを多数含む観測データを入力にする処理はその典型である。著者らは、今後、Approximateネットワークの有効性を、これらのアプリケーションに対しても提示していく予定である。

謝辞

情報通信研究機構の藤原一毅主任研究員には、本稿の初期検討において多くの有益な助言をいただいた。本研究の一部はJST CREST、科研費16H02816、総務省SCOPE 152103004による。

文献

- [1] “ポストムーアに向けた計算機科学・計算科学の新展開シンポジウム,” <http://www.cspp.cc.u-tokyo.ac.jp/p-moore-201512/>.
- [2] M. Andrewartha, B. Booth, and C. Roth, “Feasibility and Rationale for 3m no-FEC server and switch DAC,” http://www.ieee802.org/3/by/public/Sept15/andrewartha_3by_01a_0915.pdf, Sept. 2015.
- [3] D. Fujiki, K. Ishii, I. Fujiwara, H. Matsutani, H. Amano, H. Casanova, and M. Koibuchi, “High-bandwidth low-latency approximate interconnection networks,” The International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA), 12ページ, Feb 2017.



水没コンピュータ

—理想の環境適合型データセンターを目指して—

国立情報学研究所 客員准教授 藤原 一毅



1. 概要

本稿では、我々^{*1}が追究しているコンピュータの直接天然水冷技術、通称「水没コンピュータ」研究の途中経過を紹介する。

直接天然水冷の「直接」とは熱交換器を介さないこと、「天然」とは川／湖／海の水を冷熱源として使うことを意味する。つまり、自然環境中に潤沢に存在する水を冷媒かつ冷熱源として用いることで、コンピュータの冷却にかかるエネルギーをゼロにする技術である。さらに、水のある場所では水力発電や潮力発電などの再生可能エネルギーを開発できることが多く、これらの再生可能エネルギーを水没コンピュータが地産地消すれば、送電・変電にかかる損失もゼロにすることができる。「熱を輸送しない、電力を輸送しない、輸送するのは情報だけ」という理想の環境適合型データセンターを目指すとき、コンピュータの直接天然水冷が可能となれば、それは理想の実現へ向けた大きな一歩となるだろう。

我々の試作機は現在までに、屋内の水槽中で3か月、東京湾の海中で40日の連続稼動に成功し、概念実証の第一歩を踏み出したところである。水没コンピュータの実用化までに越えるべきハードルはまだ多いが、本稿をきっかけとして読者各位の専門知識を結集し、残された課題を解決していきたい。

2. はじめに

ヤカンで沸かした麦茶を冷ますとき、皆さんはどうするだろうか。空気中に置いたままうちわであおいでもなかなか冷めない（これは子供のやりそうなことだ）が、ヤカンごとボウルに入れて流水に浸せばすぐに冷める。理由は水の熱伝導率が空気より高いからだが、熱力学を学んだことがなくても、ほとんどの大人が経験的に知っている。空気よりも水を触れさせた方が効果的に冷却できる——これは地球の常識だ。



■図1. 川にコンピュータを沈めて冷やす

それでは、熱くなったCPUを冷やすために、皆さんのコンピュータはどうしているだろうか。ほとんどのコンピュータはCPUを空気中に置いたままファンで風を当てているはずだ（子供のやりそうなことだ）。なぜコンピュータは地球の常識に反する非効率な設計をしているのか？ 理由はもちろん水が電気を通すからだ。問題は水が電気を通すことだけであって、それさえ解決すればコンピュータも地球の常識どおりに水冷のメリットを享受することができる。

我々の提案する水没コンピュータは、マザーボードの表面を絶縁膜でコーティングし、ボードごと天然の流水に浸して冷やそうというアイデアである。キャンプ場で川にスイカを沈めて冷やす光景を想像してほしい。あのスイカがコンピュータに代わるだけだ（図1）。たったそれだけのブレイクスルーでデータセンターのPUE^{*2}を1.00にすることができるのに、なぜ世間ではコンピュータを川に沈める人がいないのか？ マザーボードの絶縁コーティングがそんなに難しいのか？ 疑問に思った我々は、直接天然水冷の可能性を探ることにした。

*1 国立情報学研究所 鯉淵研究室

*2 Power Usage Effectiveness: データセンターにおけるIT機器の消費エネルギーに対する全消費エネルギーの比。現状は、標準的なデータセンターで3.0～2.0、最先端の高効率なデータセンターでも1.2程度である。



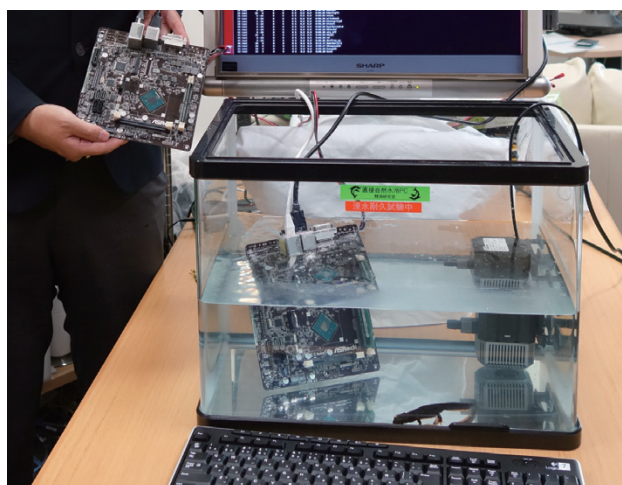
3. 技術的アプローチ

コンピュータを川に沈めるには、基板表面の配線同士が水で短絡しないようにする必要がある。我々はいくつもの方法を検討し、現時点ではパリレン樹脂コーティングが有望と考えている。

3.1 パリレン樹脂コーティング

自動車や工事現場などのタフな環境で使われる電子基板は樹脂で覆って保護されている。この用途ではエポキシのような液体の樹脂を塗布する方法が一般的だが、樹脂を気化させて基板表面に蒸着する方法もあり、化学的気相成長法 (Chemical Vapor Deposition: CVD) と呼ばれる。コンピュータの基板には複雑に入り組んだ部品が多数実装されているので、気体のコーティング材料が内部まで入り込んで均一な皮膜を形成するCVDが適していると考えられる。パリレン樹脂 (パラキシリレン樹脂) はCVDによって成膜可能な素材の一種で、絶縁性・防湿性・耐薬品性に優れ、医療・自動車・航空宇宙などの分野で使われている。我々はスマートフォンの防水コーティング技術からヒントを得てパリレン樹脂の存在を知り、市販のパソコン用Mini-ITXマザーボードの防水コーティングに挑んだ (図2)。

いくらCVD成膜プロセスが凹凸に強いとはいえ、故障要因が少ないに越したことはない。そこで、マザーボードはACアダプタ対応型 (大きな電源コネクタを持たない) かつ



■ 図2. パリレン樹脂コーティングされたマザーボードと水槽での浸漬実験

CPU搭載型 (LGAソケットを持たない) の機種を選定し、通電するだけで (電源スイッチを押さずに) 起動するようにBIOSを設定した。また、CPUファンとヒートシンクの除去、不要なコネクタの除去、ジャンパピンの切断、電源直結化 (電源コネクタを除去しケーブルを半田付け) の各加工を実施した^{*3}。残ったコネクタにはLANケーブル、HDMIケーブル、USB無線キーボード受信器、ブータブルUSBメモリ (Ubuntu Linuxをセットアップ済み) を挿入し、その状態でコーティングを行った^{*4}。コーティング素材はKISCO株式会社のdiX C (膜厚50 μ m) とdiX C Plus (膜厚120 μ m) の2種類を採用した。コーティング後のマザーボードは、見た目にはほとんど普通のマザーボードと区別できない。

3.2 その他の方法

我々はパリレン樹脂コーティング以外にもあらゆる防水方法を検討し、いくつかは試作を行った。

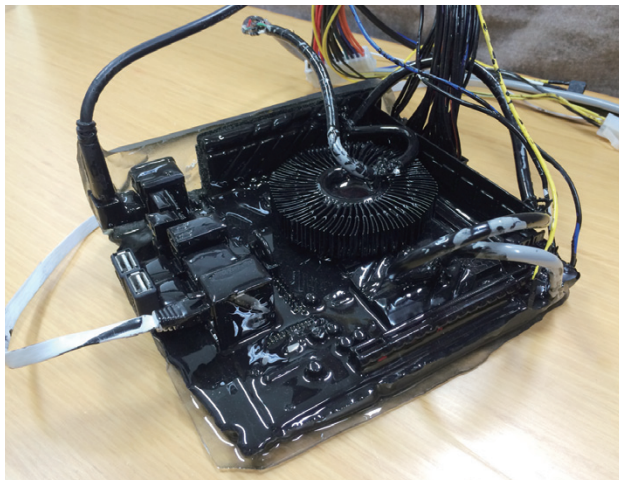
汎用品を用いる方法として、建物の外壁などに使われる耐候性塗料用のフッ素樹脂をスプレーする方法が考えられる。これはマザーボード全面に厚さ0.5 ~ 1mm程度の目に見える樹脂層を形成し、外見上は安心感が得られるが、電気的特性は明らかでない。我々は、フッ素樹脂のみをスプレーしたものと、パリレン樹脂コーティング (膜厚50 μ m) の上からフッ素樹脂をスプレーしたものを用意した。

基板保護の常道として、液体のエポキシ樹脂をマザーボードに塗布する方法がある。エポキシ樹脂は用途によって異なる粘度のバリエーションがあり、粘度が高いと入り組んだ部品の内部に浸透させるのが難しく、粘度が低いと突起部に塗った樹脂が硬化する前に垂れ落ちてしまう。我々が用いた熱伝導性エポキシ樹脂は中間的な (両方の欠点を併せ持つ) 粘度だったため、Mini-ITXマザーボードがちょうど収まる大きさの型枠を作り、基板表面を覆うのに十分な量の樹脂を流し込んだ。その結果、塗布というより封入に近い、エポキシ樹脂の塊のような物体が完成した (図3)。

最もローテクな方法として、マザーボードを水密箱に封入してしまう方法がある。ケーブル取り出し部分の水密性確保と排熱経路の確保が問題となるが、ケーブルについてはOリングを備えた市販の水中用コネクタが十分な信頼性を持っている。排熱については、箱を金属製とし、箱の内壁

*3 この作業には大型のハンダ除去機と強い忍耐力を必要とした。ご尽力いただいた合同会社サイバー工房の石田氏に感謝する。

*4 当然、あとからケーブルを挿抜することはできない。



■図3. エポキシ樹脂封入の失敗作

とCPUをヒートパイプで結合すれば外壁から排熱できると考えられる。我々はSerener社製の水密PCケースを輸入し、マザーボードの寸法に合わせた自作のヒートパイプを組み込んで、水密箱方式の試作機とした。

4. 水没実験

我々は、これら4種類の方法の耐水性を水道水と海水でそれぞれ検証した。

4.1 水槽での実験

国立情報学研究所の居室内に30cm×45cmの亚克力水槽を設置し、上述の4種類の方法で防水したマザーボードを上水道の水に浸漬したまま動作させる実験を行った(図2)。パリレン樹脂コーティングは膜厚50 μ mと120 μ mの2種類を試験した。50 μ m品のうち1枚は、水中で75分間動作した時点で故障停止した。電源断のち再通电したところ再度起動したが、10分間動作した時点でまた故障停止した。別の1枚は、水中で30分間の動作デモを行い、手動でシャットダウンした。この時点では故障していなかったと考えられるが、後日空気中で通电したところ起動しなかった。一方、120 μ m品のうち1枚は、2016年6月3日から7月26日まで連続53日間の水中稼働に成功した。7月26日に手動でシャットダウンし、後日空気中で通电したところ起動しなかった。別の1枚は、水道水に海水の素を溶かした人工海水に浸漬した。人工海水中で15日間動作した時点でカーネルパニック

クが発生し、USBの異常を示唆するメッセージが表示された状態で停止した。

フッ素樹脂スプレーは、基板上に直接スプレーしたものは水没以前に陸上で起動しなかった。パリレン樹脂コーティング(膜厚50 μ m)の上からフッ素樹脂をスプレーしたものは、2016年3月15日から6月10日まで、途中3回のシャットダウンを伴う陸揚げ作業(1回10分～3時間)をはさんで、断続87日間の水中稼働に成功した。6月10日に水中で故障停止したが、後日空気中で通电したところ起動した。

エポキシ樹脂封入は、水没以前に陸上で起動しなかった。ボード上に貼り付けた温度計の配線が樹脂封入時に基板上の配線に触れた可能性があるが、原因究明には至っていない。

水密箱は、市販製品だけあって何の問題もなく動作した。

4.2 東京湾での実験

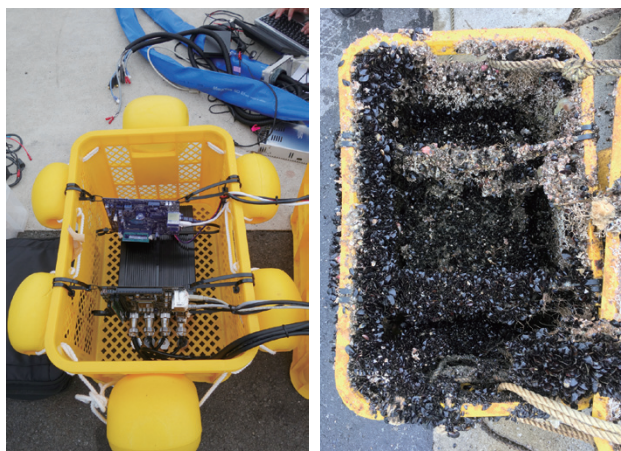
海洋研究開発機構・横須賀本部の岸壁の一角をお借りして、コンピュータを東京湾に浮かべて動作させる実験を行った。防水方法としては、水槽中で最も良好な結果が得られたパリレン樹脂コーティングと水密箱を用いた。潮の満ち引きに追従するため、マザーボードは海中に固定せず、海面上に浮く籠^{*5}の中に吊るす形とした(図4)。

パリレン樹脂コーティングは膜厚120 μ m品を用い、計3枚を海に投入した。うち1枚は、2016年7月27日から9月5日まで連続40日間の海中稼働に成功した。他の2枚はそれぞれ17日間(7月27日～8月14日)と16日間(8月26日～9月12日)



■図4. 東京湾での実験風景(左)とマザーボードを搭載した籠(右)

*5 果実採集用のプラスチック箱を2個組み合わせたもので、上半分にケーブル中継箱が、下半分にマザーボードが固定されている。海に投入すると、上半分が海面上に浮き、下半分が海面下に没する。



■図5. 投入前(左)と55日経過後(右)の籠内部

の海中稼働実績を得た。ここでいう「稼働」とは、1分間に1回のpingに応答する状態を意味する。3枚とも最終日に応答が途絶え、そのまま海中で機能停止したと見られる。再通電は試していない。排熱については、海中では無負荷状態でCPU温度が38℃～40℃で安定しており、120%^{*6}の負荷をかけても42℃までしか上昇しなかった。一方、陸上では無負荷状態で60℃に達した。

水密箱は1台を海に投入した。こちらは6月2日の設置から11月15日の撤去まで無事に動作し続けた。ただし排熱は思わしくなく、負荷をかけると海中でもCPU温度が80℃まで上昇した。

6月2日から7月27日まで海中にあった籠を引き上げると、大量のムラサキイガイ(ムール貝)が付着していたほか、小さなカニやエビも生息し、さながら養殖棚の様相を呈していた(図5)。この状態でコンピュータが機能を維持していたことに驚愕する半面、直接天然水冷の冷熱源という観点では、沿岸の海面付近は生物相の厚さが大きな障害となり得ることが明らかになった。

5. 先行事例

水没コンピュータへの挑戦は我々が最初ではなく、現在までにいくつかの成功例と失敗例が報告されている。

高橋敏也氏は、アクリルウレタン樹脂スプレーとエポキシ樹脂封入で我々と同様の失敗を報告している^[1]。

ASCII.jp編集部は、ガラス製の水密容器を用い、内部をエンジンオイルで満たす方法で十分な冷却性能が得られたことを報告している^[2]。

GIGABYTE社は、グラフィックボードにコーティングを施して水中で動作させるデモ動画を公開しているが、耐久性は明らかでない^[3]。

2009年に開かれたオーバークロックの世界大会「Master Overclocking Arena 2009」において、米国のTeam OI/IEが水没PCを動作させたという報告があるが、詳細は不明である^[4]。

6. 既存技術との比較

6.1 通常の水冷

パイプに冷却水を循環させ、水枕と呼ばれる金属製の熱交換器を介してCPUを冷却する方式の水冷システムは大型コンピュータで普通に使われている。この方式では、温くなった冷却水を冷やすための設備が別途必要であり、その冷却設備(ポンプや冷凍機)がエネルギーを消費する。外気を冷熱源とするものが大多数であるが、高緯度地域では天然の湖水や河川水を冷熱源とするものもあり、マイクロソフト社が実験した海中データセンター^[5]は海水を冷熱源としていたと考えられる。いずれにせよ冷却水は閉鎖系であり、冷熱源とは熱交換器を介して隔てられている。配管内に異物が詰まると故障するため、天然水そのものを冷却水とする直接天然水冷技術は実用化されていない。

6.2 液浸冷却

絶縁性の液体(油やフッリナートなど)を冷媒とし、その冷媒を満たした槽に基板を直接浸漬する液浸冷却技術が実用化されている^[6]。冷媒はパイプ内を循環し、外部の冷熱源(通常は外気)と熱交換するので、冷媒を冷やすための冷却設備がエネルギーを消費するという点では通常の水冷システムと変わらない。この方式は水枕を用いる通常の水冷システムよりも簡素な装置で高密度に基板を配置できるため、既存の建物内やオフィス内に高性能計算機を設置するのに適している。

6.3 空冷

CPUにファンで風を当て、暖まった空気をエアコンで冷やすのが一般的な間接空冷方式であり、エアコンがエネルギーを消費する。冷涼な地域では外気をそのまま導入する直接空冷方式も実用化されているが、少なくともファンを回す必要があるほか、湿度制御や雪害・塩害への対処が不

*6 4コアなので最大400%



可欠である。さくらインターネット(株)の石狩データセンターは、1号棟・2号棟では直接空冷方式を採用していたが、3号棟は間接空冷方式に改められた^[7]。

7. 課題と展望

7.1 生態系への影響

自然環境中に排熱するという意味では空冷も水冷もその本質は同じだが、気温上昇と水温上昇では影響範囲が異なる。

海水温の上昇については、原子力発電所に関連して多くの既存研究がある^[8]。日本の原発の排水温度は海水温+7℃以下とされており、発電出力1GWあたりの流量は70m³/s程度、排熱量は約2GWである*⁷。京コンピュータの設計最大電力が20MW*⁸なので、その排熱量は出力1GWの原発1基の約1/100に相当する。原発周辺では、温排水を使った魚の養殖が行われている。

河川の水温上昇については、地域熱供給(地域冷暖房)に関連して国土交通省が指針を出しており、河川水温の変化が±3℃以上*⁹の区域に影響の検討範囲としている^[9]。水力発電の例を挙げると、東京電力藤原発電所の最大流量は28m³/s、最大出力は22.2MWであり、この電力をすべて水没コンピュータが消費すると水温上昇は約0.2℃となる。水力発電所の上流にある導水路内は、自然環境から隔離され、発電量に比例した流量＝冷却能力が保証されることから、水没コンピュータの設置場所として理想的な環境と考えられる。

7.2 法制度との兼ね合い

河川の流水を排他的・継続的に利用する設備は水利権の対象となり、河川法に基づく流水の占用の許可が必要となる。海面の利用は原則として自由だが、港湾区域内では港湾法に基づく水域の占用の許可が必要となる。また、「水質の汚濁や工作物の設置等によって、漁場内における採捕又は養殖の目的物たる水産動植物の棲息及び来遊等を阻害する行為」は漁業権の侵害となる^[10]ため、漁場付近では漁業者との調整が必要である。

電気安全に関しては、JIS C 8105-2-11「観賞魚用照明器具に関する安全性要求事項」において、IPX7を満たす

直流30V以下の観賞魚用照明器具は水中に配置してもよいとされていることが参考になる。なお、電気用品安全法はパーソナルコンピュータを適用対象外としている。

7.3 屋内型水没コンピュータ

もし一足飛びに直接天然水冷を目指すことが社会的に受容されにくいのであれば、一歩手前のコンサバティブな実装として「直接天然水冷ではない水没コンピュータ」を造ることも考えられる。すなわち、屋内に設置した水槽に冷却水(水道水)を満たし、コーティングしたマザーボードを浸漬する。これは既存の液浸冷却システムの冷媒を水に置き換えるだけであり、コーティングさえできれば容易に実現可能である。液浸冷却の利点である効率的な冷却と空冷の利点である扱いやすさのいいところ取りを狙ったプラクティカルな設計と言える。水没専用マザーボードを新規に設計するならば、コーティングの弱点と見られるコネクタ等の入り組んだ部品が水面上に出るように設計することで、故障要因が大幅に減る可能性がある。

7.4 故障診断

コーティング技術の完成度向上を目指す上で障害となっているのが故障診断の困難さである。コーティングしたマザーボードを水に沈めると時間経過とともに散発的に故障が生じるが、その故障の発生メカニズムを解明しなければ、コーティングをどのように改良するべきかの指針も得られない。しかし、浸水は極めて小さなピンホールでも発生するため目視による故障箇所の特定はできず、かといって顕微鏡を用いて十数cm四方のマザーボード全面を検査することも現実的でない。我々は今後、短絡箇所を特定する機能をもつ試験用基板を製作して破壊試験を行う予定である。

8. おわりに

本稿では、我々が進めている水没コンピュータ研究の途中経過を報告した。市販のマザーボードにバリレン樹脂コーティングを施した我々の試作機は、水道水中で87日間、東京湾の海水中で40日間にわたって正常に動作し、概念実証としては一定の成果を得たと考えている。とはいえ、水没コンピュータの実用化までに越えるべきハードルはまだ多い。

*⁷ これは原子力発電所の熱効率が33%程度であることと矛盾しない。

*⁸ 20MWは電力設備の最大供給能力であり、コンピュータが実際に消費する電力は最大12MW程度である。

*⁹ ±3℃以下は自然状態での日間変動の範囲内である。



技術的には、水中で2年間（データセンターのサーバーのリプレース周期）程度の平均寿命の達成を目標として、コーティングの耐久性をさらに高める必要がある。そのためには故障原因を究明した上で対策を講じなければならない。有機化学の知識と故障診断のノウハウを持つ読者諸賢のご助力を賜りたい。

社会的には、コンピュータを自然環境中に設置することの法的位置付けを明らかにし、関係者との合意を形成する必要がある。我々は、今回行った東京湾での実験のほかに、より生物相の薄い河川上流部で実験を行うことも検討した。しかし「川にコンピュータを沈めても怒られないためには誰に許可を得ればいいのか」が明らかでなく、適地の発見に至らなかった。水没実験の可能な川に心当たりのある読者の方は、ぜひ情報をご提供いただきたい。

水没コンピュータが実用化された暁には、水力・潮力・波力といった水辺の自然エネルギー発電所と組み合わせ、熱も電力も輸送しない理想の環境適合型データセンターが実現する。今後発展していく国々が自前の情報インフラを整備するにあたり、津々浦々の水辺に小さなデータセンターを置いて高速無線ネットワークで結べば、重厚長大な電力・通信インフラの整備を待たずして、軽量かつ持続可能なクラウドサービスを人々に提供できるだろう。昔ながらの重厚長大なデータセンターはそのとき、水に溶けて消えてしまうかもしれない。

本稿は情報処理学会研究報告 vol.2017-HPC-158に掲載されるものを改題・一部改変して転載したものである。

引用文献

- [1] 高橋敏也, 高橋敏也の改造バカー一台&動く改造バカ超大全 風雲編, インプレス, 2015.
- [2] 林佑樹, Core m版スティックPCには油没冷却がとても効果的!! KADOKAWA, 2016年10月27日, <http://ascii.jp/elem/000/001/247/1247813/>.
- [3] GIGABYTE Extreme Gaming, Graphics card put into water, 2016年3月14日, <https://youtu.be/JoWkabOWtwE>.
- [4] 長浜和也, MSIのオーバークロック世界大会で“水没PC”とスリリングなゲームに酔う, ITmedia, 2009年8月31日, <http://www.itmedia.co.jp/pcuser/articles/0908/31/news047.html>.
- [5] Microsoft, Project Natick, 2016年, <http://natick.research.microsoft.com/>.
- [6] HPCシステムズ, 液浸冷却ソリューション, <http://www.hpc.co.jp/ESLiC.html>.
- [7] さくらインターネット, さくらインターネット, 新しい空調コンセプトで石狩データセンター 3号棟を建設, 2015年9月29日, https://www.sakura.ad.jp/press/2015/0929_ishikari_idc/.
- [8] 海洋生物環境研究所, 平成22年度国内外における発電所等からの温排水による環境影響に係る調査業務報告書, 2011年3月, https://www.env.go.jp/policy/assess/4-1report/file/h22_01a.pdf.
- [9] 国土開発技術研究センター, 河川水熱エネルギー利用に関する河川環境影響検討指針(案)(解説), 1995年2月, <http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/material/env-boo-1-01.pdf>.
- [10] 水産庁, 漁業権について, http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/gyogyouken_jouhou3.html.



ITU-R SG 1（周波数管理）WP1A・WP1B会合 （2016年11月）結果報告

総務省 総合通信基盤局 電波部 電波政策課 国際周波数政策室

1. ITU-R SG1の概要

ITU-R SG1（Study Group 1：第1研究委員会）は、「周波数管理」に関する議題を担当し、スペクトラム技術（WP1A）、周波数管理手法（WP1B）及び電波監視（WP1C）を研究対象としている。近年では、主にワイヤレス電力伝送（WPT）、テラヘルツ帯等の検討が注目されている。

2016年11月22日から30日までの間、スイス（ジュネーブ）のITU本部において開催されたWP1A（スペクトラム技術）及びWP1B（周波数管理手法）会合が開催され、日本から計15名が出席した。

なお、今回の会合は、WRC-19議題に関する緊急研究課題等の検討を加速するため、2016年及び2017年のそれぞれ第4四半期に特別に開催することとなった中間会合であることから、WP1C及びSG1会合は開催されていない。

以下、各WP会合における主要な議題の検討状況を報告する。

2. WP1A（スペクトラム技術）

WP1Aはスペクトラム技術を所掌し、WPT、電力線搬送通信（PLT）等を検討している。WP1Aの議長はR. Garcia De Souza氏（ブラジル）が務めており、WGは表1のとおり構成されている。

今回の会合では、日本、米国、英国、ドイツ、中国等からの寄与文書及び前回の議長報告並びに他SGグループ等からのリエゾン文書を含め合計89件の入力文書が審議さ

れ、25件の出力文書が作成された。

2.1 ワイヤレス電力伝送（WPT）の利用周波数に関する検討

電気自動車（EV）用のWPTが、2015年の世界無線通信会議（WRC-15）においてITU-Rで緊急の対処を要する研究（urgent studies）と位置付けられ、その研究結果を2019年の世界無線通信会議（WRC-19）の無線通信局長レポートを審議する議題9.1の対象とすることが合意された。また、WRC-19に向けた第1回会議準備会合（CPM19-1）の決定により、CPMレポートに課題9.1.6として盛り込まれることになっている。

これまでEV用WPTはWP1Bが責任グループとして検討するとされていたが、今回の会合において、WP1AがEV用を含むWPTシステム全般の技術や運用に関する検討（既存の無線通信サービスへのインパクトの検討等）を行い、報告や勧告を策定することとなった。他方、WP1Bは、WP1Aにおける検討結果を基に、EV用WPTからのインパクトの検討の結果に関する判断、EV用WPTの利用周波数範囲の検討、CPMテキスト案の作成等を行うこととされ、両WP間の役割分担が明確化された。

これを受けて、WP1Aにおいて、EV用WPTからのインパクトの検討の手法等について技術的検討を行ったが、放送業務に対するインパクトの検討において、我が国が実環境における評価に基づく手法を提案する一方で、欧州放

■表1. WP1Aの構成と各グループの担当課題

	担当	議長
WP1A	スペクトラム技術	R. G. De Souza氏（ブラジル）
WG1A-1	PLTシステムを含む無線通信システムと有線電気通信の共存とその関連事項	J. Shaw氏（英国BBC）
WG1A-2	WPTとその関連事項	A. Orange氏（クアルコム）
WG1A-3	WRC-19議題1.15と他の議題及び課題	B. J. Sykes氏（米国）



送連合（EBU）が長波・中波放送の保護基準に基づく手法を提案したため、今回は日本及びEBUの両提案をReport ITU-R SM.2303-1改定案の作業文書に併記して議長報告に添付し、次回の会合で引き続き検討することとされた。さらに、同作業文書には、WPTに関する日本での制度化、欧州での標準化、IEC/CISPRでの検討等のアップデート情報も盛り込まれた。

前回の会合で欧州3か国の反対で新勧告草案（PDNR）から採択に進めることが先送りされたWPTの利用周波数に関する新勧告案Recommendation ITU-R SM. [WPT]は、記述を一部修正して議長報告に添付し、次回の会合での勧告化を目指すこととなった。

そのほか、無線周波数ビーム方式のWPTについて、共用検討に関する新報告案の作成のための作業計画を日本及び米国の寄与文書を基に改定し、インパクト検討の対象の見直し等を行った。

2.2 テラヘルツデバイスの周波数の特定に向けた検討

WRC-15において、275–450GHzの陸上移動業務と固定業務への特定がWRC-19議題として承認されたことから、前回会合では、ワークプラン及びCOMテキストのフレームワーク案を作成した。

今回会合では、共用両立性に関する新報告草案を提案する寄与文書を我が国から入力し、関連WPからの回答文書等の内容を盛り込んだ作業文書を作成した。

また、関連WPが所掌するシステムの特性に関する最終的なデータを次回会合までに要請するリエゾン文書を発出した。

3. WP1B（周波数管理手法）

WP1Bは、周波数管理手法を所掌し、WRC-19の関連議題等について検討している。WP1Bの議長はRuoting Chang氏（中国）が務めており、WGの構成は表2のとおりである。

今回の会合では、日本、韓国、中国、米国、カナダ、ロシア、イラン等からの入力文書及び前回の議長報告並びに他SGグループ等からのリエゾン文書を含め合計71件の入力文書が審議され、26件の出力文書が作成された。

3.1 ワイヤレス電力伝送（WPT）の周波数管理手法に関する検討

WPTの研究課題を定めているQuestion ITU-R 210-3/1 “Wireless Power Transmission” においては、適切な周波数範囲の検討等の技術的な課題に加えて、周波数管理手法に関する研究課題（例えば、Under what category of spectrum use should administrations consider WPT : ISM, or other? 等）が掲げられている。

今回の会合では、WPTの周波数管理手法に関する新報告の作成を提案する寄与文書を我が国から入力し、Report ITU-R SM. [WPT SPEC.MNGM] 策定に向けた作業文書を作成して検討を開始した。また、本報告の内容は、WRC-19に向けたEV用WPTの緊急研究課題に関するCPMテキスト案に反映される。

3.2 短距離無線通信デバイス（SRD）の分類や周波数の調和に関する検討

前回会合では、SRDの分類の調和を目的とした作業文書が、米国提案の「本勧告案において特定されている分類のSRDを調和しない形（on a non-harmonized basis）で導入することも出来る」という点が明記された上で新勧

■表2. WP1Bの構成と各グループの担当課題

	担当	議長
WP1B	周波数管理手法	R. Chang氏（中国）
WG1B-1	WRC Issue 9.1.6, 9.1.8及びショートレンジデバイスと関連事項	F. M. Yurdal氏（Robert Bosch）
WG1B-2	WRC Issue 9.1.7及びその他の事項	L. K. Boruett氏（ケニア）



告草案に格上げされた。今回合合では、新勧告草案のANNEXに記載されているSRDの分類として、Ultra low power active medical implant (ULP-AMI) (医療用ペースメーカー等を想定) の追加を提案する寄与文書が中国より入力され、承認された。

また、今回合合では、SRDの利用周波数帯の調和について記載したITU-R勧告 (SM.1896) に、超広帯域無線 (UWB) 用の周波数帯を明記する寄与文書をETSI (欧州電気通信標準化機構) が入力したが、ETSIがUWB用に盛り込むべきとした周波数帯 (3.1–4.8、6–9GHz) は、日本 (3.4–4.8、7.25–10.25GHz) や韓国 (3.1–4.8、7.2–10.2GHz (ただし3.4–3.7GHzはIMT用に検討中)) で使用できる周波数帯と異なるため両国が共同で反対し、調整の結果、周波数帯を修正し (3.7–4.8、7.25–9GHz)、「UWB用周波数帯や関連する規制は国ごとに異なる」旨を注記することとなった。

3.3 領土内の無認可地球局端末を管理する手法の検討

2015年無線通信総会 (RA-15) において、ITU-R決議64「無認可運用される地球局の管理のためのガイドライン」

が策定され、WRC-15においても、「衛星へのアップリンク送信を認可済みの端末からのものに制限するための追加手法の必要性についての研究及び主管庁による無認可地球局端末の管理を支援する手法の研究」を、urgent studiesと位置付け、そのWRC-19の無線通信局長レポートを審議する議題9.1の対象とすることが合意された。

これらを受け、前回合合ではCPMテキスト策定に向けたワークプランを作成した。今回合合では、エジプト、中国からの寄与文書を基に、各国の規制の現状等を把握する質問票について議論が行われ、エジプト提案にあった放送コンテンツ規制や料金の徴収等に関する質問を含まない形で、各国主管庁に回章することで合意した。なお、質問票の回答から得られる情報を収集しまとめるためのコレスポンデンスグループを期間限定で設立することとなった。

4. 次回会合の予定

次回のSG1ブロック会合は、スイス (ジュネーブ) のITU本部において2017年6月13日から21日までの期間で開催される予定である。



ITU-R SG5 関係会合の結果について

総務省 総合通信基盤局 電波部 移動通信課 新世代移動通信システム推進室 システム開発係

たけだ まさみち
武田 真理

総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 国際係長

おくい まさひろ
奥井 雅博

総務省 総合通信基盤局 電波部 基幹・衛星移動通信課 基幹通信室 国際係長

なかむら かすなり
中村 一成

1. はじめに

国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) SG5 (地上業務研究委員会) 関連会合が、2016年11月7日 (月) から21日 (月) にかけてスイス (ジュネーブ) のITU本部で開催されたので、その概要を報告する。

SG5は、陸上・航空・海上の各移動業務、固定業務、無線測位業務、アマチュア業務及びアマチュア衛星業務を所

掌しており、議長は、英国のMartin Fenton氏が就任している。SG5は表1に示すとおり、4つのWorking Party (WP) と1つのTask Group (TG) から構成され、本2016年11月期はSG5会合、WP5Dを除く3つのWP会合が開催された。

以下では、11月21日に開催されたSG5会合、11月7日から18日に開催されたWP5A、WP5B、WP5C会合の主要議題と主な結果について報告する。IMTを所掌するWP5D会合については、直近では、第25回会合が2016年10月5日 (水) から13日 (木) にかけてスイス (ジュネーブ) ITU本部において開催されたので、その結果については本報告においては割愛させていただく。

■表1. SG5の構成 (敬称略)

組織名	所 掌	議 長
SG5	地上業務	Martin Fenton (英国)
WP5A	陸上移動業務 (IMTを除く) アマチュア業務、アマチュア衛星業務	Jose Costa (カナダ)
WP5B	無線測位業務、航空移動業務、海上移動業務	John Mettrop (英国)
WP5C	固定業務	Pietro Nava (中国)
WP5D	IMT	Stephen Blust (米国)
TG5/1	WRC-19 議題1.13	Cindy Cook (カナダ)

2. SG5第12回会合

2.1 会合の概要

本会合は、WRC-19会期の2回目の会合であり、各WPから上程された勧告案等の文書審議が行われた。本会合に

■表2. SG5で審議された勧告案、報告案

種類	文書番号	要 要	審議結果
勧告案			
新規	M. [IMT.MODEL]	D IMTと他システムの共用検討、両立性検討のためのIMTシステムモデルに関する勧告	(※1)
改訂	M.1732-1	A 共用検討に用いるためのアマチュア及びアマチュア衛星業務で運用するシステムの特性に関する勧告	(※2)
改訂	M.1466-0	B 31.8-33.4GHz帯のRNSレーダの特性及び保護基準に関する勧告	(※2)
改訂	M.1457-12	D IMT-2000詳細無線インタフェースに関する勧告	(※1)
改訂	M.2070-0	D IMT-Advancedの基地局の不要輻射に関する勧告	(※1)
改訂	M.2071-0	D IMT-Advancedの移動局の不要輻射に関する勧告	(※1)
報告案			
新規	M. [RAIL.LINK]	A 鉄道通信システムの紹介	承認
新規	F. [FS.IMT/BB]	C IMT及びその他地上モバイルブロードバンドシステムにおけるバックホールを含むトランスポート向けの固定業務の利用に関する報告	承認
新規	F. [FS/RLS COMPATIBILITY IN 71-86GHZ]	C 71-76GHz及び81-86GHz帯で運用されるFSでのP-Pアプリケーションと76-81GHz帯で運用されるRLSでの自動車レーダアプリケーションの両立性に関する報告	承認
改訂	M. 2014-2	A ディスパッチトラフィックのためのデジタル陸上移動システムに関する報告	承認
改訂	M. 2291-0	D ブロードバンドPPDRのためのIMTの利用に関する報告	承認

(※1) ITU-R決議1-7§A2.6.2.2.2に従い、研究委員会会合における採択の後、§2.6.2.3.5に従い、郵便により承認を求める手続きを行う。

(※2) ITU-R決議1-7§A2.6.2.4に従い、郵便による同時採択・承認を求める手続きを行う (PSAA)



は、35か国から140名が出席し、我が国からは9名が参加した。

2.2 主要議題及び主な結果

SG5傘下の4つのWPから提出された勧告案及び報告案について審議が行われ、審議された6件全ての勧告案（新規1件、改訂5件）について合意に至り、今後郵便投票等への適切な承認プロセスへ進むこととなった。報告案については、5件（新規3件、改訂2件）が承認された（表2）。

また、SG5傘下の4つのWPとTG5/1から、前回以降に実施された会合の結果について、報告があった。特にWP5D議長からは、2017年10月にIMT-2020に関するワークショップを開催予定であることが報告された。

3. WP5A第17回会合

3.1 WP5Aの所掌及び会合の概要

WP5Aでは、IMTを除く陸上移動業務、一部の固定業務（FWA: Fixed Wireless Access）、アマチュア業務及びアマチュア衛星業務に関する技術的検討を実施している。本会合には、42か国から249名が出席し、我が国からは21名が参加した。前回会合と同様に、表3のとおり5つのWorking Group（WG）体制のもとで、検討が行われた。本会合では171件の入力文書について検討が行われ、74件の文書が出力された。

■表3. WP5Aの審議体制（敬称略）

	担務内容	議長
WP5A		Jose Costa (カナダ)
WG1	アマチュア業務、アマチュア衛星業務	Dale Hughes (豪州)
WG2	システムと標準	Lang Baozhen (中国)
WG3	PPDR (公共保安及び災害救援)	Amy Sanders (米国)
WG4	干渉と共用	Michael Kraemmer (ドイツ)
WG5	新技術	吉野 仁 (日本)

3.2 主要議題及び主な結果

①アマチュア及びアマチュア衛星に関する検討

WRC-19議題1.1 (50–54MHz帯のアマチュア業務への分配の検討) に関して、50–54MHz帯におけるアマチュア業務と既存業務との共用検討についての新報告草案M.[AMATEUR_50MHZ] に向けての作業文書を更新し、議長報告に添付された。

また、前回会合からキャリアフォワードされた勧告M.1732「共用検討で使用するアマチュア及びアマチュア衛星業務で運用されるシステムの特性」の改訂作業を完了し、SG5での採択等を求めて上程した。

②鉄道無線に関する検討

WRC-19議題1.11 (列車沿線間の鉄道無線通信システム(RSTT)に関する検討) のためのRSTTの技術運用特性とスペクトラム要求についての新報告草案M.[RAIL.RSTT] の作業文書は、周波数のみではなくアプリケーションで分類した上で周波数を含めた技術運用特性を整理するというドイツからの提案があり、主なアプリケーションを「Train radio」「Train positioning information」「Train remote」「Train surveillance」の4つに分類し作業文書を整理した。また、前回会合にて各国、セクターメンバー等に発出された、鉄道無線システムに関する質問を行うための回章(6月3日、5/LCCE/60) に対する各国等からの回答が日本主導で取りまとめられ、議長報告に添付された。また、これらの回答を作業文書に反映させるためのCorrespondence Group (CG) が設置された。

また、2014年に日本提案により作業が開始された鉄道無線リンクに関する新報告草案M.[RAIL.LINK] は、エディトリアルな修正を経て最終化し、SG5での承認を求めて上程した。

③PPDR (公共保安及び災害救援) に関する検討

WRC-15で改訂された決議646 (Rev.WRC-15) の変更結果を受け、PPDR用周波数を整理した勧告ITU-R M.2015の改訂に関する作業文書を作成し、Annexにおける具体的な記載内容の今後の改訂のためのガイドラインドキュメントを更新作成して議長報告に添付された。

また、ITU-R報告M.2377から「スペクトラム要求事項」を切り出して、新規報告／勧告を目指した作業文書を作成して議長報告に添付された。

④5GHz帯RLANに関する検討

WRC-19議題1.16 (5GHz帯RLANと他の業務との共用検討) に関して、RLAN技術特性及び運用要求に関する作業文書、既存業務への干渉低減技術に関する作業文書、RLAN航空計測に関する作業文書、RLAN共用検討に関する作業文書に関する作業が引き続き行われた。日本が近年開発した固体化気象レーダも共用検討対象とすべくDFS (気象レーダとWAS/RLANの干渉低減技術) の要件を定めた勧告M.1652の改訂を日本から提案し、次回会合にキャリアフォワードされた。

⑤高度道路交通システム (ITS) に関する検討

WRC-19議題1.12 (ITS用周波数の世界的調和) に関する作業計画、CPMテキスト案に向けての作業文書及びITS利用状況の調査レポートに関する新報告草案ITU-R M.[ITS USAGE] の作業文書が更新され議長報告に添付された。

上記報告について、中国からLTE based V2Xに関する



情報を記載した入力文書が提出されていたが、当該入力文書には不明点が多いとの米国、ドイツからの意見があり、3GPPヘリエゾン文書を送り回答を求めることとなった。

⑥275-450GHzの周波数帯における陸上移動業務への周波数特定に関する検討

WRC-19議題1.15 (275-450GHzの周波数帯における陸上移動業務及び固定業務への周波数特定の検討) に関して、前回会合よりキャリアフォワードされた275GHzの移動無線システムの特性に関する新報告草案M. [300GHZ_MS_CHAR]の作業文書については、日本、ドイツ、IEEEからの入力文書の内容を反映し、議長報告に添付された。

4. WP5B第17回会合

4.1 WP5Bの所掌及び会合の概要

WP5Bは、無線測位業務、航空移動業務及び海上移動業務に関する技術的検討を実施している。本会合には、39か国から247名が出席し、我が国からは7名が参加した。また、185件の文書について検討が行われた。

4.2 主要議題及び主な結果

①無人航空機及び決議155に関する検討

決議155 (WRC-15) には、無人航空機システム (UAS) の制御及び非ペイロード通信 (CNPC) の固定衛星業務 (FSS) に分配された周波数帯の使用に関する条件や行うべき検討事項が列挙されている。本会合においては主に作業計画、固定業務 (FS) 保護のためのpdf値の検討及びICAOからのリエゾン文書について検討が行われた。作業計画については決議155の内容をWP5Bが主導的に実施する前提で、「WP5Bが担当」、「他のWPと共同」、そして「ICAOが担当」という区分けを行うことが合意されたが、作業計画全体については時間がなかったため、冒頭に、「この文書はレビューしておらず、合意に至らない場合はこの文書は考慮することはできない」という内容のノートを追記した上で次回会合へ持ち越した。固定業務保護のためのpdf値については、米国及びフランスから技術検討結果が提示された。内容は、米国はUASを優先させるために緩いpdf値の提案、フランスはFSの保護を確実にするため厳しいpdf値を提案している。両者の提案を統合した文書が作成され議長報告に添付された。また、FSの保護基準を問うリエゾン文書をWP5Cへ送付した。さらに、ICAOから無人航空機の衛星リンク特性等の情報提供を依頼するリエゾン文書が入力され、本会合では情報がないため、今後回答する旨記載した内容の返答エゾン文書を作成し、ICAOに送付した。

②WRC-19議題1.8 (GMDSSの更新及び近代化) に関する検討

WRC-19議題1.8は、決議359 (WRC-15改) による全世界的な海上遭難・安全システム (GMDSS) の更新及び近代化のための規制条項の検討であり、GMDSSの更新としてイリジウム衛星システムの導入が議論の中心となることが想定されている。

本会合ではWP4Cからのリエゾン文書が紹介され、本件に関連するITU-R勧告及び報告のリストの説明や、1616-1626.5MHz帯 (イリジウム衛星) における他業務との共用・両立性検討を行っていることが述べられた。また、GMDSSに新たに導入する衛星としてスラヤ衛星も候補に挙がっていることが説明され、スラヤ衛星の周波数 (ダウンリンク: 1530-1544MHz、アップリンク: 1626.5-1645.5MHz) は既にRRで保護されているが、GMDSSに編入される衛星システムがイリジウムのほかにもあることが強調された。決議359 (WRC-15改) のresolves1に関するCPMテキスト作成はWP5Bが担当であること、resolves 2のCPMテキスト作成はWP4Cが担当であることが再確認され、CPMテキスト案及び作業計画を更新し、議長報告へ添付された。

GMDSS新衛星候補となっているイリジウム衛星システムと電波天文業務との両立に関する米国からの情報提供文書に関して、記載内容の不正確さが指摘されたために内容についての紹介や審議がされず、記載情報の真偽などに関する各国からのステートメントが議長報告に記載されることとなった。

③ITU-R勧告M.1849-1の改定に関する議論

我が国より勧告M.1849-1 (地上気象レーダの技術・運用特性) の改定提案を行った。提案内容は、5GHz固体レーダが既に開発・利用されているが、そのパラメータがITU-R勧告M.1849-1に含まれていないため、これを追加するというものである。また、本改定がWRC-19議題1.16の検討に影響があるため、WP5Aへのリエゾンも提案していた。勧告の改定作業の開始及びパラメータの追記については反対なく合意され、改定勧告草案に向けた作業文書が議長報告に添付された。また、議題1.16に関するWP5Aへのリエゾン文書にM.1849-1の改定が提案されていることが記載された。

5. WP5C第17回会合

5.1 WP5Cの所掌及び会合の概要

WP5Cは、固定無線システム並びに30MHz以下の固定及び陸上移動業務のシステムに関する技術的検討を、表4に示す体制のもとで実施している。このうち、WG5C-4の議長をNTTの大槻氏が務めている。



■表4. WP5Cの審議体制（敬称略）

	担務内容	議 長
WP5C		Pietro Nava（華為技術）
WG5C-1	30MHz以下のシステム	Brian Patten（米国）
WG5C-2	30MHz-86GHzのシステム	Nasarat Ali（英国）
WG5C-3	86GHz以上のシステム及び一般的な寄与文書	Haim Mazar（ATDI）
WG5C-4	WRC議題に関連しない勧告、報告等の見直し	大槻 信也（日本）

本会合には、34か国、23機関から193名が出席し、我が国からは9名が参加した。日本寄書4件を含む117件の入力文書等について検討が行われ、24件のリエゾン文書を含む45件の出力文書が作成された。

5.2 主要議題及び主な結果

①WRC-19議題1.15（275-450GHzの能動業務への特定）に関する検討

WRC-19議題1.15は、現在、受動業務にのみ特定されている275-1000GHzの周波数帯のうち、275-450GHzの周波数範囲について固定業務等の能動業務への特定に関する検討を行うものである。

本会合では、本議題の検討促進のために現在作成中の、275-450GHz帯固定業務アプリケーションの技術運用特性に関する新報告について、我が国より空欄部分の追記等の提案を行った。

審議の結果、我が国からの提案を反映させた新報告草案に向けた作業文書が議長報告に付され、次回会合で継続検討することが合意された。

また、関連する外部標準化機関やWPに対して、本件に関する作業状況を周知するとともに、引き続き関連する技術運用特性について情報提供を求めるリエゾン文書を発出した。

②ITU-R勧告F.1777の改定に向けた検討

ITU-R勧告F.1777は、放送補助業務で用いるシステムと他業務との共用検討用パラメータを記載している勧告であり、前回会合より我が国からの提案に基づき改訂作業が行われている。

本会合では、我が国から、日本国内で使用されている42GHz帯FPU（Field Pickup Unit）のシステムに関するパラメータを追加する提案を行った。

審議の結果、我が国からの提案を反映させた作業文書が議長報告に付され、次回会合で継続検討することが合意された。

③固定無線システムに対するLarge/Massive MIMO（Multiple Input Multiple Output）技術の適用性に関する検討

る検討

前回会合において我が国から、固定無線システムの利用動向に関するITU-R報告F.2323にLarge/Massive MIMOの記述を追加することを提案し、当該報告の改訂作業が行われている。

我が国からLarge/Massive MIMOの高い周波数における有用性や5GHz帯における実験結果の追加を提案した。

審議の結果、我が国の提案を反映させた作業文書が議長報告に付され、次回会合で継続検討することが合意された。

④IMT等のシステムにおけるバックホールを含むトランスポート向けの固定業務の利用に関する検討

IMT及びその他地上モバイルブロードバンドシステムにおけるバックホールを含むトランスポート向けの固定業務の利用に関する新報告案の作成作業が行われている。

本会合において、我が国から新報告案完成に向けて語句の修正やまとめの追加等とともに作成作業を完了しSG5へ上程することの提案を行った。

審議の結果、我が国の提案が反映された新報告案が作成され、SG5会合へ上程することが合意された。その後、SG5会合において新報告として承認された。

6. 今後の予定

次回のWP5D会合は、ITU本部（ジュネーブ）にて2017年2月14日（火）～22日（水）に、次回のTG5/1会合は、ITU本部にて2017年5月15日（月）～23（火）に、次回のWP5A、WP5B、WP5C会合は、ITU本部にて2017年5月22日（月）～6月2日（金）に開催を予定している。

7. おわりに

今回のSG5関連会合は、WRC-15後の2回目の会合であり、前会期からの継続案件の審議に加えて、WRC-19に向けた議題の検討が、引き続き行われた。SG5会合では、各WPから上程された勧告案等の文書審議が行われた。

今回の各WP会合において、日本からも積極的に議論に貢献できたことは、長時間・長期間にわたる議論に参加された日本代表团各位、会合前の寄書作成や審議に貢献していただいた関係各位のご尽力のたまものと、この場をお借りして深く御礼申し上げる。

WRC-19までの今会期では、引き続き地上業務の研究が活発に行われる予定である。我が国が一層貢献・活躍できるよう、今後の審議に向けて関係各位の更なるご協力をお願い申し上げます。



ITU-R SG6（放送業務）関連会合 （2016年10月）結果報告

総務省 情報流通行政局 放送技術課 国際係 **さ さ き ともあき**
佐々木 智昭

1. ITU-R SG6関連会合の概要

ITU-R SG6 (Study Group 6: 第6研究委員会) は、放送業務を担当している。日本は、地デジ日本方式 (ISDB-T)、ハイブリッド放送 (ハイブリッドキャスト)、UHDTV (スーパーハイビジョン) 等の放送技術分野で積極的な寄与を行っている。

2016年10月17日 (月) から28日 (金) までの間、スイス・ジュネーブのITU本部において、ITU-R SG6関連会合が開催された。本会合は、新研究会期 (2016-2019) の第2回会合である。会合の構成は、WP6A (地上放送・配信)、WP6B (放送サービスの構成及びアクセス)、WP6C (番組制作及び品質評価) 及びSG6である。

日本代表団として、総務省 (放送技術課)、日本放送協会 (NHK) 及び (一社) 日本民間放送連盟 ((株) TBSテレビ、(株) テレビ朝日、(株) フジテレビジョン及び日本テレビ放送網 (株)) から14名が参加した。

また、WP6C会合初日 (10月17日 (月) 午前) にVRセミナーが、WP6A会合最終日の翌日 (10月27日 (木) 午後) にDTTBワークショップがそれぞれ開催された。

以下に、各WP及びSG6会合に関して日本が積極的に関与した事項について主な結果を報告する。

2. WP6A (地上放送・配信)

WP6Aは、地上放送の送信技術や共用・保護基準などを所掌している。議長はA. Nafez氏 (イラン)。会合は2016年10月18日 (火) から26日 (水) まで開催され、30か国、16組織・機関から約100名が参加した。SWG及びAd-hoc Groupの構成は表1のとおり。後述のとおり、地上デジタル放送の導入に関するハンドブックの編集作業を完了させるため、SWGの他にAd-hoc Groupが設置された。136件の寄与文書 (うち日本から2件を入力) が審議され、34件

■表1. WP6AのSWG、Ad-hoc Groupの構成

SWG 6A-1	テレビジョン	議長: W. Sami氏 (EBU)
SWG 6A-2	保護	議長: D. Hemingway氏 (BBC)
SWG 6A-3	共用	議長: R. Bunch氏 (オーストラリア)
SWG 6A-4	その他	議長: P. Lazzarini氏 (バチカン)
SWG 6A-5	音声	議長: J. Song氏 (中国)
Ad-hoc Group 1	DTTB ハンドブック	共同議長: C. Dosch氏 (ドイツ) D. Hemingway氏 (BBC)

の文書を出力した。

2.1 UHDTV野外実験レポート

UHDTVの地上放送については、2015年2月に、日本からの提案で、各国における地上波野外伝送実験に関する情報をまとめたレポートBT.2343が策定されている。本レポートには、8K伝送に関しては日本の事例が、4K伝送に関しては5か国 (韓国、フランス、スペイン、スウェーデン、イギリス) の事例が記載されている。日本の事例は、2014年1月に熊本県人吉市で実施された水平・垂直偏波を用いたMIMO伝送 (偏波MIMO伝送) による8K野外実験と、2015年2月に同じく人吉市で偏波MIMOを用いた単一放送波中継 (SFN) の野外伝送実験である。

今回会合では、本レポートに対し、本年ブラジル・リオで開催されたオリンピックに際して、日本とブラジルが協力して実施した8K地上波伝送によるパブリックビューイングに関する情報の追記を、日本とブラジルが共同で提案し、レポートの改訂が承認された。

また、日本では、2016年8月からNHKがBSで8K試験放送を開始していることや、地上放送での実現に向けた取組を進めていることを紹介した。

2.2 地上デジタル放送のカバレッジ評価に関するレポート

地上デジタル放送のカバレッジ評価については、各方式ごとにその経験を共有するためのレポートBT.2252が策定されており、これまでATSC (システムA)、DVB-T (システムB) 及びDTMB (システムD) に関する情報が記載されていた。今回会合では、本レポートに、ISDB-T (システムC) に関する情報を記載するため、日本が地デジ化の際に実施した新たな難視対策に関する調査に基づく評価手法を追加する提案を行った。本手法は、特定のシステムに依存したものではないことから、日本からの寄与文書を基にレポート改訂草案を作成し、他のシステムの情報を追加できるよう、継続審議となった。

2.3 地上デジタル放送の導入のためのハンドブック

2008年から編集作業が続けられてきた「地上デジタル



放送の導入に関するハンドブック」が完成し、SG6会合において、ITUハンドブックとして発行されることが承認された。日本も積極的に編集作業に携わっている。デジタル放送に関する包括的な内容が盛り込まれており、世界各国で参照されることが見込まれる。今回WP6A会合終了日の翌日に開催されたITU-R WP6A、EBU、DVB、BNEの協力によるDTTBワークショップにおいて、Ad-hoc Group議長を務めたC. Dosch氏（ドイツ）から、本ハンドブックの内容が紹介された。

3. WP6B（放送サービスの構成及びアクセス）

WP6Bは、信号インタフェース、情報源符号化、多重化などを所掌している。P. Gardiner氏（英国）が暫定議長を務め、SG6会合でWP6B議長として承認された。2016年10月24日（月）から27日（木）まで開催され、20か国、12組織・機関から約80名が参加した。SWGの構成は表2のとおり。84件の寄与文書（うち日本から5件を入力）が審議され、40件の文書を出力した。

表2. WP6BのSWGの構成

SWG 6B-1	符号化、インタフェース、グローバルプラットフォーム	議長：青木 秀一氏 (日本：NHK)
SWG 6B-2	ハイブリッド放送、マルチメディア	議長：武智 秀氏 (日本：NHK)
SWG 6B-3	音響関連課題	議長：Simone FÜG氏 (ドイツ)

3.1 放送・広帯域通信統合システム

放送・広帯域通信統合システム（Integrated Broadcast-Broadband system。以下「IBBシステム」という。）については、勧告BT.2075に、HbbTV（欧州方式）、Hybridcast（日本方式）、HTML5 based Smart TV Platform（韓国方式）の3方式が規定されている他、IBBシステムの開発・導入状況をまとめたレポートBT.2267が策定されている。前回会合では、日本提案を基に、IBBシステムの調和に関する検討を進めるため、レポートBT.2267に調和に関する新たなパートを設けるための作業文書を作成しており、今回合でも、類似性の高いHbbTVとHybridcastの調和に関する情報の追加を日本から提案し、引き続き作業文書として情報の拡充を進めることとなった。また、ブラジルから、勧告BT.2075へのGinga（ブラジル方式）の追記が提案され、SG6会合において、勧告改訂案の承認・採択手続に進めることが合意された。

3.2 音響関連メタデータ

音響システムの多チャンネル化や音声オブジェクト制御機能の実現に向けて、音響定義モデル（ADM）というメタデータの仕様を規定する勧告BS.2076の他、ADMで使用する共通定義を規定する勧告BS.2094、ADMの使用法を記載したレポートBS.2388が策定されている。今回合合での検討により、これらの勧告、レポートの規定内容の整合性を確保するための作業がおおむね完了した。日本からは、勧告BS.2076について、ダウンミックス時の入出力のスピーカ配置を指定するための記述子の追加を提案し、この提案を含む勧告改訂草案が作成され、継続審議となった。前回会合から始まったADMのシリアル表現に関する検討についても、今回合合においてBBCやオーストラリアからの提案を基に新勧告草案が作成され、レビューの時間を確保するため、継続審議となった。

3.3 グローバルプラットフォーム

グローバルプラットフォームについては、2015年3月に、「放送サービスのためのグローバルプラットフォーム」に関する研究課題が策定されており、放送コンテンツを様々な伝送路で伝送し、様々な端末で利用するためのグローバルプラットフォームの要求条件と初期ユースケースについての情報をまとめるレポート作成に向けた検討が行われているところである。本レポートについては、前回合合で、グローバルプラットフォームの定義の不明確さや技術的要件の記載が不十分であるとの指摘があったことから、継続審議となっている状態であった。今回合合では、日本から、技術的要件の追加とともにグローバルプラットフォームの技術要素をまとめたレポートの策定を提案した。しかし、今回合合においても、定義についての合意には至らず、依然として定義について慎重に議論すべきという意見さえ出るような状況であった。また、米国からグローバルプラットフォームに関するこれら二つのレポートを統合するべきではないかという主張がなされ、次回合合までに二つのレポートの統合可能性についても検討することとなった。

3.4 デジタルインタフェースでの高ダイナミックレンジテレビ（HDR-TV）信号伝送

HDR-TVについては、勧告BT.2100が2016年7月に発行されている。一方、映像信号を伝送するデジタルインタフェースについては、HDTV用の勧告BT.1120とUHD TV用の勧告BT.2077が策定されている。今回合合では、日本から、既



存のデジタルインタフェースでHDR-TVの信号も伝送しようとする場合に、HDR-TVと従来の信号を識別する必要があることから、両デジタルインタフェース勧告のペイロードIDを改訂することを提案した。ペイロードIDによって新たに識別する必要のあるパラメータは、勧告BT.1120についてはカラリメトリ、伝達関数、輝度・色差信号形式、narrow/full rangeであり、勧告BT.2077については伝達関数、輝度・色差信号形式、narrow/full rangeである。本提案については、SMPTE規格との整合を取りながら標準化していく必要があることから、勧告改訂草案とし、SMPTEにもリエゾン文書を送付して意見を求めることとなった。

4. WP6C (番組制作及び品質評価)

WP6Cは、番組制作と品質評価を所掌している。議長はA.Quested氏(英国)、副議長の一人は日本の清水氏(TBS)である。2016年10月17日(月)から21日(金)まで開催され、19か国、12組織・機関から約90名が参加した。SWGの構成は表3のとおり。118件の寄与文書(うち日本から7件を入力)が審議され、33件の文書を出力した。

■表3. WP6CのSWGの構成

SWG 6C-1	音声品質評価	議長: P. Crum氏(米国)
SWG 6C-2	映像品質評価	議長: C. Lee氏(韓国)
SWG 6C-3	音響	議長: 大出 訓史氏(日本: NHK)
SWG 6C-4a	HDR-TV	議長: P. Gardiner氏(英国)
SWG 6C-4b	映像	議長: S. Miller氏(米国)
SWG 6C-5	その他	議長: 清水 勉氏(日本: 民放連(TBS))

4.1 高ダイナミックレンジテレビ (HDR-TV)

HDR-TVについては、先述のとおり、勧告BT.2100が策定されている。今回合会では、システムガンマをディスプレイのピーク輝度に応じて設定することについて、ピーク輝度が異なる条件でHLG方式によるHDR映像制作を行う場合、システムガンマを一定とする場合と可変とする場合とで、映像信号にどのような差異が生じるのかについて実験を行った結果に基づき、システムガンマをディスプレイピーク輝度に応じて設定することの妥当性を日本から報告した。また、勧告BT.2100に記載のHLG方式のOETF (Opto-Electrical Transfer Function) は、シーンリニアな信号を[0, 12]で正規化して規定しているが、他の標準化団体での議論や日本での規格化を踏まえ、[0, 1]で正規化して規定することを英国と共同提案した。本提案については、表現方法の変更であり、勧告の内容を何ら変更す

るものではないことから、エディトリアルな勧告改訂案として提案したものの、オーストラリアから、勧告BT.2100のいかなる改訂もレビューの時間が必要であり草案に留めるべきとの発言があり、勧告改訂草案として継続審議されることとなった。

4.2 オブジェクトベース音響のレンダラー

オブジェクトベース音響方式では、音響信号をスピーカで再生する信号に変換するレンダラーが必須となる。このレンダラーについて、仕様を規定する新勧告の策定に向けての議論が継続して行われているところであり、基準となるレンダラーである「ベースラインレンダラー」に関するラポータグループ(RG33)での検討を踏まえ、今回合会では、点音源のパンニング法に関する検討が行われた。点音源のパンニングにあたり提案されている方式には、音源の方向が固定されるEgocentricと、音源-スピーカ間の距離の比率が固定されるAllocentricの二つの動作があり、座標系としては直交座標系と極座標系とが提案されている。各動作と座標系との関連付けの可否について、Allocentricの提案者がAllocentricと直交座標系との組合せに固執する一方、自由に組み合わせられるべきと主張する者との間での議論が何度も行われた結果、各動作と座標系とを自由に組み合わせる方向で検討を進めることとなった。

4.3 国際素材伝送回線での音声トラックの割付

前回合会において、スーパーハイビジョン放送においてステレオと5.1ch、22.2chの音響が同時に放送されることを踏まえ、日本から、これらの番組音声の国際素材伝送時に用いられる計32chのチャンネル割付を提案した。この日本の提案を、EBU、オーストラリアの提案と統合する形で、12ch、16ch、32chのチャンネル割付を規定する新勧告草案が作成され、継続審議されていた。今回合会では、日本から、勧告草案の体裁を整える修正を提案し、SG6合会において新勧告案として採択・承認手続に進めることが合意された。

4.4 VR

今後の検討テーマの一つとして、前回合会でSG6議長から提案があったことを踏まえ、今回WP6C合会の開催初日に、WP6C議長がアレンジしたVRセミナーが開催され、Ericsson、EBU、BBCからの講演や、BBCによる最新VR技術の体験デモが実施された。また、WP6C議長からは新たな研究テーマとして、VR等の高度没入型AV (Advanced



Immersive Audio Visual。以下「AIAV」という。) システムに関する番組制作・交換、評価法を研究することが提案され、新研究課題草案が作成されるとともに、QualcommとDolbyの2名の共同ラポータが指名され、次回会合までにAIAVについてWP6Cとしてどのような研究をし得るのか、AIAVに関する最新の活動などについての調査が行われることとなった。

5. SG6

SG6は、2016年10月28日（金）に開催され、24か国、12組織・機関から約60名が参加し、49件の入力文書を審議した。SG6で承認・仮採択された文書数を表4に示す。議長は西田幸博氏（NHK）。

■表4. SG6で承認・仮採択された文書数

文書種別	合計
新研究課題案	0 (0)
研究課題改訂案	1 (2)
研究課題廃止提案	0 (0)
新勧告案	1 (3)
勧告改訂案	2 (2)
勧告エディトリアル改訂案	5 (6)
勧告廃止提案	1 (1)
新レポート案	0 (2)
レポート改訂案	11 (7)
レポート廃止提案	1 (0)
新ハンドブック案	1 (0)

括弧内は、前回2016年1月会合時の件数

会合冒頭に、都合によりSG6会合に参加出来なかったBR局長F. Rancy氏からの挨拶がカウンセラーのHai氏より紹介され、VRセミナーやDTTBワークショップが盛況かつ好評であったことに触れられ、世界中の地デジ移行が2020年までに完了するための継続した支援を求めることが伝えられた。また、SG6議長の西田氏からの挨拶では、放送の重要性や各WPの主な課題等について触れられた後、今後もSG6が高い生産性を維持しつつ放送技術に関する国際標準化の先駆者で在り続けるために、積極的な審議への参加と放送の未来のための貢献が求められた。各WPが今後も継続して取り組むべき課題や新技術の利活用の観点から今後研究が必要な課題として挙げられた事項は表5に示すとおりである。さらに、SG6名誉議長Krivosheev氏（ロシア）の挨拶では、SG6議長の課題を整理し方向性を示すという姿勢を支持することが表明されるとともに、包括的なデジタル化に関する自らの考えが表明された。その

中では、放送のデジタル化が、世界的なデジタル化における初めての目に見えた成果であったこと、放送を取り巻く環境のデジタル化が今研究会期でのSG6の大きなテーマとなること、SG6がこれまで以上にデジタル化の動向に注意を払い、放送に活用出来るものを取り込んでいく必要があることが述べられた。

次回のSG6関連会合の暫定スケジュールは表6に示すとおりである。

■表5. 各WPの課題

WP6A	・ WRC-19へ向けた準備 ・ 放送サービスの干渉からの保護 ・ 次世代地上放送システムの検討 ・ スペクトラムの活用
WP6B	・ グローバルプラットフォーム ・ IoT (Internet of Things)
WP6C	・ コンテンツ・フォーマット ・ VR (Virtual Reality) ・ AI (Artificial Intelligence)

■表6. 次回SG6関連会合スケジュール

2017年3月会合	
WP6A	3月21日（火）～29日（水）
WP6B	3月27日（月）～30日（木）
WP6C	3月20日（月）～24日（金）
SG6	3月31日（金）

6. おわりに

今回会合は、新研究会期の2回目の会合であり、SG6議長である西田氏にとっても、議長としての2回目の会合であった。今回会合に向けて、西田氏はSG6議長として、各WPに対して研究課題の整理や新たな検討テーマについての提案を行っていた。このように、SG6議長がSG6の課題を整理し、方向性を示したことについては、先述のとおり、新しい取組であり、名誉議長であるKrivosheev氏から賛同の意が示されるとともに、各WPにおいても、西田氏からの提案を踏まえた議論が行われ、今後継続して検討されていく意思が示されていた。今後も、放送業務の発展を強く牽引していただくことを期待したい。

最後に、今回日本代表団として参加された皆様へ謝辞を述べたい。今会合の成果は皆様の多大なる御尽力によるところである。また、筆者にとって初めてのSG6関連会合出席に当たり、2週間という長い会合を乗り越えられたのは多様な面での皆様のお心遣いがあったことが非常に大きい。この場を借りて心よりお礼を申し上げたい。



第8回ITUカレイドスコープ2016学術会議報告



まつもと みつし
松本 充司

早稲田大学 名誉教授



むらた よしとし
村田 嘉利

岩手県立大学 教授



いけだ よしかず
池田 佳和

大谷大学 教授



ベド カフレ
Ved P. Kafle

情報通信研究機構
ネットワークシステム研究所
主任研究員

1. はじめに

ITUカレイドスコープ学術国際会議は、情報通信技術研究をテーマに早い段階で様々な視点から光を当てることによって、ITU標準化のニーズに沿う技術やサービスを把握し発掘するためのITUのアカデミックイベントで、今年で第8回目となる。2016年はタイ（バンコク）で開催されたITU Telecom World 2016と同じIMPACT展示会場（写真1）で11月14日から17日の3日間行われ、参加者数は120人（31か国）であった。

これに伴いITU事務総長Houlin Zhao氏が主催するITU Secretary-General's Academia Consultations会議やITU、ISO、IECの共催によるWorld Standards Cooperation (WSC) 会合などのITU関連イベントに参加する機会を得た。

今回のテーマは“ICTs for a Sustainable World”である。講演発表はレクチャー講演19件とポスター発表6件（15か

国）、論文投稿数は23か国から83件、採択率は30.1%であった。さらに、招待論文2件と基調講演者3名であった。

講演プログラムは下記URL参照。

<http://www.itu.int/en/ITU-T/academia/kaleidoscope/2016/Pages/programme.aspx>

2. 開会式と基調講演

開会式では、ホスト国からChulalongkorn大学学長代理と政府役職者から歓迎の挨拶が、主催者からChaesub Lee ITU TSB局長による開会の挨拶があった（写真2）。

基調講演はベルリン工科大学Wiegand教授によって行われ、「情報通信と機械学習が統合されて発展を遂げている。今後その重要性は益々大きくなっていく」と述べられた。現在のICT標準化の最先端で起きていることや将来のビジョンや技術的挑戦についても言及された。



写真1. IMPACT展示会場



写真2. 開会式でホスト国からの歓迎の挨拶



2日目の冒頭には、BBCのSimon Tuff氏の基調講演があった。

多くの人は、放送局が環境問題を理解して番組制作やコンテンツ配信をしていることを認識しているが、放送局自体も環境問題に大きな影響を与えていることを認識している。本講演では英国、特にBBCを例にして番組制作と流通の持続可能性に焦点を当て、特に様々な生産ワークフローのカーボンフットプリントの点で評価されている英国Albertの情報を使用した場合と、BBCのR&Dとパートナーが実施した調査結果を使用して、伝送の影響と配信プラットフォーム間のエネルギー差について論じている。結論として、放送業界が直面している課題の考え方と、積極的に取り組むべき焦点についての示唆を与えている。

3. 講演セッション

3.1 セッション1

(Role of ICT in environmental sustainability)

論文講演3件と基調講演1件が行われた。最初の発表はオランダの大学から、グリーンICT（エネルギー節減に有効なICT）がいくつかの組織や企業で効果を上げている事例を数値で報告した。次にインドの大学から、沿岸漁業をする零細漁民のために通常の安価な携帯電話端末を使用して沿岸から数十km離れた海上に緊急通信を伝えるため、沿岸基地局の改変や漁場中心にいる中型漁船に中継機を搭載する実験が報告された。最後にインドの研究所から、AI（人工知能）と人間が混在して社会活動を行う機会が今後増大する。超高性能AIの設計と稼働に関して人類に危害を与えないようにするガイドラインをITUが主導して有識者を集め策定するべきであると提案した。

基調講演1では、NokiaのMolin氏より「炭素排出増加を抑えながら経済成長する方策」としてICTの進歩が貢献している携帯電話網基地局のエネルギー効率化が紹介された。

3.2 セッション2 (Service and quality standards)

招待講演1件と論文講演2件が行われた。招待講演では、グルノーブル・マネジメント大学（フランス）からGerontechnology（加齢工学）が紹介された。この分野は新たに問題となってきた学際領域であり、技術、機能、倫理、法制度など多くの研究課題がある。次に、インターネットの「ユニバーサルサービス」（貧困者・地域にも安価ネットサービス提供を義務化）について、その課題や中立性の

問題点が報告された。最後に、EU研究助成による「高度技術による教育支援プロジェクトNEWTON」が紹介された。“gamification,” AR (augmented reality), multiple sensorial media (mulsemmedia) を駆使する計画である。

3.3 合同セッション (Making money from meeting the SDGs? An overarching approach to sustainable development)

ITU Telecom World 2016のフォーラム・セッションと合同で開催された。ITUや地域標準策定機関、関連業界標準化グループなどが、参加企業に人力と資金、時間を負担させているが、それに見合う利益を獲得しているかについて活発な討論が行われた。短期的には、多くの場合、参加企業や担当者に直接的利益リターンはないが、社会貢献を通じて広義の利益を享受しているとの意見が支配的であった。

3.4 セッション3

(Special efficiency in wireless networks)

Mario Maniewicz氏により議事が進められた。無線ネットワークインフラストラクチャをテーマに4件の講演（この内下記2件は優秀論文賞候補）があった。1件目はNTT空間分割多重の次世代光通信技術で、ケーブルにどれほどの多重化できるかの実証実験結果を報告している。

2件目は、多重セルLTEにおけるD-D通信の資源配分について、また3件目は、マーケットに基づいて周波数を割り当てるメカニズムの理論的提案がいずれもArmed R. Sharafat氏から紹介された。

4件目は、技術進歩及びモバイルブロードバンド事業者の増大に伴い、スペクトル利用可能性のさらなる要求、スペクトラム管理、スペクトル利用効率の向上のため、より高周波の利用、スペクトラムの共有が必要で、それに伴うスペクトラムの割当て、配分及び管理が要求されていることから、スペクトル共有による効率的な配分と配分の条件を作り出すスペクトルの最良の使用及び利用者を決定するための効率的な方法について報告された。

3.5 セッション4 (Network evolution)

Martin Adolph氏の議事のもとに5件の論文が発表された。

1件目は、イタリアの研究者による「農村と低所得地域の5G準備はできたか」という招待講演であった。農村部



と低所得国の要件を満たす5Gアーキテクチャの設計について述べ、デジタル格差縮小が報告された。2件目は、将来のIoTアプリケーションのための安全なリアルタイム通信を実現するための高速応答を提供するIoTディレクトリサービスの設計と実装に関するものであった。

3件目は、既存のIaaSプラットフォームに基づくサービス指向のモバイル・クラウド・センシング（MCS）プラットフォームの設計に関するものであった。4件目は、タイと韓国間でSDNベースのテストベッドネットワーク上におけるビデオデータマルチパス伝送に関する実験結果の発表であった。

3.6 セッション5 (Services and implementation-related issues)

Ved Kaffle氏の議事のもとに4件の論文が発表された。このうち、2件が最優秀論文賞、1件が若手奨励賞を受賞した。講演発表1件目は日本の岩手県立大学からのもので、いままでにない遠隔リハビリテーションを提案しており、若手奨励賞に選出された。2件目は、モルディブ、ミャンマーそしてフィリピンの3か国にまたがる災害情報システムをオープンソースであるSAHANA EDENを利用して作成し、運用内容を報告したもので、優秀論文賞のFirst prizeに選出された。3件目は、村を対象とした小口投資事業Self-help group (SHG) で利用することを主目的としたSNS的な情報共有システムを提案していた。4件目は、電話の発信者番号 (caller ID) を利用した認証システムについて提案しており、優秀論文賞のSecond prizeに選出された。

3.7 セッション6 (Sustainability and smartness)

Keping Yu氏の議事のもとに2件の論文が発表された。1件目は、セキュリティレベルの認証サービスの立ち上げプロジェクトCRISPの取組みについて報告された。本論文は昨年の優秀論文賞の継続報告である。2件目は、ドローンを利用したWiFiネットワークについての報告であり、アンテナの違いによるカバーエリアについて報告された。

3.8 ポスターセッション

Martin Adolph氏の議事のもとに6件の論文概要が紹介された。

- (1) HTTP環境におけるアダプティブビデオストリーミングの紹介
- (2) モバイルネットワーク上のインターネットパフォーマンス

ンスを理論と実践面からの評価の紹介

- (3) TVホワイトスペース (TVWS) を使用する場合のアクセス方法と、地理的位置とスペクトルセンシングの体系的分析を明らかにしたものを紹介
- (4) 既存のスマートシティの基準は、都市のエネルギー効率政策策定のガイドラインを提供しているか、どのように都市のエネルギー効率の政策を作ることができるか、そのモデル化と標準化・アプローチ、政策立案プロセスを標準化するポリシー作成プロセスのマップ、タスクなどについて紹介
- (5) スマートシティのための大気モニタリングのためのワイヤレスネットワーク、スマートシティにおけるコミュニティインターネットアクセスと環境教育に関する紹介
- (6) 途上国向けにサイバー医療を導入して低価格化で途上国の医療向上と強化を図る研究の紹介

3.9 特別セッションJVC (Jules Verne's corner)-Artificial Intelligence for a sustainable future : friendly companion or threatening conqueror?)

モデレータはカナダのStephen Ibaraki氏で、香港のMalavika Jayaram氏、SAP GlobalのSauvik Banerjee氏、タイのPrabhas Chongstivatana教授の3名により、「AIは我々の友達なのか、それとも征服者なのか?」ということでAIの環境や経済、医療などへの応用可能性についてパネルディスカッションが行われた。

4. 優秀論文賞受賞者

AT&TのMostafa Hashem Sherif氏による講演発表の総括の後、論文賞審査委員会による優秀論文賞の発表と受賞式があった。これを表1に示す。また、以下の4名に若手研究者奨励賞が渡された。これを表2に示す。

5. おわりに

今回はカレイドスコープも8回目となる。今回は、初めての試みで、会場をタイ（バンコク）でのITU Telecom World 2016に併設したイベントであった。このためカレイドスコープのメンバーにとっては、ITUの展示会や一部フォーラムにも参加が可能であった。また会場準備の面や招待論文専門家を集めることに有効であったが、半面、会議への登録や会場への入室は、ITU Telecom Worldと同一となった。



■表1. 優秀論文賞受賞者（敬称略）（写真3）

優秀論文	著者	論文名
First best paper	Biplov Bhandari, Angga Bayu Marthafifsa, Manzul Kumar Hazarika, Francis Boon, Nuwan Waidyanatha, Lutz Frommberger (Thailand, USA)	<i>Intricacies of implementing an ITU-T X.1303 cross-agency situational-awareness platform in Maldives, Myanmar, and the Philippines</i>
Second best paper	Huahong Tu, Adam Doupé, Ziming Zhao, Gail-Joon Ahn (USA)	<i>Toward authenticated caller ID transmission : the need for a standardized authentication scheme in Q.731.3 calling line identification presentation</i>
Third best paper	Kazuhide Nakajima, Takashi Matsui, Kotaro Saito, Taiji Sakamoto, Noriyuki Araki (NTT, Japan)	<i>Space division multiplexing technology : next generation optical communication strategy</i>

■表2. 若手研究者奨励賞受賞者一覧（敬称略）

Kotaro Suzuki	Iwate Prefectural University,	Japan
Biplov Bhandari	Asian Institute of Technology,	Thailand
Huahong Tu	Arizona State University	USA
Eneko Atxutegi	University of the Basque Country-UPV/EHU	Spain



■写真3. First Best paper 受賞者

Second Best paper 受賞者

Third Best paper 受賞者

特に、ITU Telecom Worldの初日にはタイ王室のシリントン王女による開会宣言が行われたため、会場は早朝から大勢の軍、警察、行政職員で溢れ、会場内の入室には厳重なセキュリティ検査が行われた。

また、会場はバンコクの旧市街地から遠い北部IMPACT地区で開催されたため、鉄道網はなく、バスやタクシー利用のため、会議場への移動も容易ではなかった。

次回のITUカレイドスコープ（K-2017）は、2017年11月6日から8日、中国・南京大学での開催が計画されている。アカデミアのイベントとして大学内の施設での開催に戻ったといえる。



■写真4. カレイドスコープ2016に参加したメンバー



写真5. チャオプラヤ川の夜景



写真6. ワット・アルン

ITU事務総局長の学術協議会

この協議会は、2016年11月13日、カレイドスコープ前日に行われ、アカデミアを中心に約70名が参加した。Houlin Zhao ITU事務総局長が議長を務めた。この協議の目的は、(1) ITUジャーナルの発行、(2) 事務総局長へのアカデミー諮問委員会の構築、(3) 協力強化のためのプラットフォーム/メカニズムの構築についてアカデミアの意見を集めることであった。事前に寄書を要請し、各々の課題において30件余の投稿があった。

とりわけ、新規ジャーナル誌の発行に関して、ビジネスモデル、雑誌の内容、論文投稿者と読者、編集委員会、の観点に意見が集中した。さらに諮問委員会については、諮問委員の数と地理的分布、オンラインと物理的な会合の頻度などについて意見交換が行われたが、時間不足のため、今後さらなる検討を行うこととなった。



Secretary-General's アカデミア諮問会議

学術円卓会議World Standards Cooperation

国際標準化機構（WSC）は、2001年にITU、ISO、IECによって設立され、世界的なコンセンサスに基づく基準の採用と実施の促進、技術的な作業協力に関する問題解決を図る。透明性を確保し、作業の重複を可能な限り避けるようにするため、これまでワークショップ、教育訓練、国際基準制度の推進などのイニシアティブを実施してきた。

カレイドスコープ終了後の翌日にITU、ISO、IECにより、アカデミアの標準化への参加を促進するためのWSCが開催された。主な目的は、アカデミアを標準化に取り入れる方法、アカデミアによる標準化機関への協力方法の共有、途上国と先進国の両面からICTの標準化が技術的・社会的開発達成にどのように役立つのかなどを議論することであった。

ここでは、国際標準化におけるジェンダーの役割、構成について、標準化の途上国への導入への取組み、学術的研究機関と標準化団体との連携はIoTの取組みが経済、環境、社会にとって有効であること等が議論された。



シリーズ！ 活躍する2016年度国際活動奨励賞受賞者 その6

みやでら よしお
宮寺 好男

日本無線株式会社 海上機器事業部企画推進部 課長
miyadera.yoshio@jrc.co.jp
<http://www.jrc.co.jp/>



海上における安全の向上のため、全地球規模でVHF帯の電波を使用した安定したデータ通信の利用ニーズが高まっている中、海上無線通信に関する豊富な研究開発の経験をもとに、次世代のデジタル海上無線通信システムである海上VHF帯データ通信システム（VDES）の標準化活動に主導的な立場で参加し、その結果、我が国の主張する内容を的確に反映させた形でITU-R勧告の作成がなされ、今後、我が国がVDESを主導的な立場で技術開発・発展させる可能性を担保した。

海上無線通信の国際標準化

この度は、日本ITU協会賞国際活動奨励賞という名誉ある賞を頂き、大変光栄に存じます。日本ITU協会並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

海上無線通信は、GMDSS（Global Maritime Distress and Safety System：全世界的な海上における遭難・安全システム）をはじめとして、国際的に統一された通信システムの構築が不可欠です。海上無線で使用している周波数は400kHz帯から30GHz帯まで広範囲にわたっており、更にGPSなどの衛星系電波航法システムのバックアップとして地上系の電波航法システムも見直され、100kHz帯を利用したeLoranシステムを構築しようとする動きもあります。利用している無線システムなども多岐にわたり、狭帯域直接印刷電信（NBDP）による海上安全情報の放送、アナログ音声通信、デジタル音声通信、各種データ通信、デジタル選択呼出による遭難通信、船舶の衝突防止のための船舶自動識別装置（AIS）、衛星を利用した遭難通信のための非常用位置指示無線標識装置（衛星EPIRB）、レーダー及びGPS航法装置など、挙げれば切りがありません。また、遠洋漁船などでは未だにモールス通信を利用している局もあるために、2012年世界無線通信会議（WRC-12）では短波帯海上無線通信の周波数分配を定めた無線通信

規則付録第17号にデジタル方式を導入するとともに、モールス通信への分配を残しました。

海上無線は長らくアナログ通信が主体でしたが、1992年のGMDSS運用開始頃から少しずつデジタル通信が導入されています。近年では、WRC-12でHF帯及びVHF帯にデータ通信が導入されました。WRC-15ではUHF帯船上通信にデジタル通信が導入されるとともに、VHF帯のデータ通信がVHFデータ通信システム（VDES）として整理されました。さらに、海上における高速データ通信のためにKa帯（20/30GHz）衛星通信が船上で利用できるようになりました。WRC-19では、VDESを衛星で利用するための議題が設けられています。

これらの多様性を持つ海上無線通信は、ほぼ全てのシステムで国際標準化が必要なため、大変ですがやりがいのあるITU活動となっています。周波数の有効利用や安全・確実な無線通信のために、今後ともデジタル化や新たな通信方式の導入などが進められ、国際標準化活動が更に重要になると考えております。今後も我が国の高い技術力を生かし、船舶の安全や効率的運行に寄与できるよう、一層の努力をする所存です。

ITUAJより

編集後記

IoTにまつわる標準化規格の中で、「Wi-SUN」は、数少ない日本発の規格です。Wireless Smart Utility Networkの略で、電気・ガス・水道などで用いられるメーターに端末機を搭載し、自動検針や状況監視、動作制御などの目的で行っていた無線技術の開発がベースとなっています。障害物などがあっても電波が届きやすく、他の機器などからの干渉も少ない920MHz帯の電波を用いる標準規格で、超低消費電力、かつ広い伝達距離を実現しており、乾電池駆動の機器でも、通信頻度が1日数十回程度なら何年も連続で稼働できるとされています。

今月号の特集は、その「Wi-SUN」です。現在どのように活用されているのか、今後の展望は？ ぜひご一読ください。

ITUジャーナル読者アンケート

アンケートはこちら https://www.ituaj.jp/?page_id=793

編集委員

委員長	亀山 渉	早稲田大学
委員	白江 久純	総務省 情報通信国際戦略局
〃	稲垣 裕介	総務省 情報通信国際戦略局
〃	財津 奈央	総務省 情報通信国際戦略局
〃	網野 尚子	総務省 総合通信基盤局
〃	深堀 道子	国立研究開発法人情報通信研究機構
〃	岩田 秀行	日本電信電話株式会社
〃	中山 智美	KDDI株式会社
〃	小松 裕	ソフトバンク株式会社
〃	津田 健吾	日本放送協会
〃	石原 周	一般社団法人日本民間放送連盟
〃	吉田 弘行	通信電線線材協会
〃	中兼 晴香	パナソニック株式会社
〃	牧野 真也	三菱電機株式会社
〃	東 充宏	富士通株式会社
〃	飯村 優子	ソニー株式会社
〃	江川 尚志	日本電気株式会社
〃	岩崎 哲久	株式会社東芝
〃	田中 茂	沖電気工業株式会社
〃	三宅 滋	株式会社日立製作所
〃	斧原 晃一	一般社団法人情報通信技術委員会
〃	菅原 健	一般社団法人電波産業会
顧問	小菅 敏夫	電気通信大学
〃	齊藤 忠夫	一般社団法人ICT-ISAC
〃	橋本 明	株式会社NTTドコモ
〃	田中 良明	早稲田大学

編集委員より

2016年世界電気通信標準化総会 (WTSA-16)

総務省 情報通信国際戦略局 通信規格課

いながき ゆうすけ
稲垣 裕介



2016年10月25日から11月3日まで、チュニジア共和国のヤスミン・ハマメットにて開催されたWTSA-16に出席しました。

今回のWTSA-16では137の規制官庁・組織等から約700名の参加がありました。今回開催地となりましたチュニジアですが、当初聞いていた話では「非常事態宣言が出ていて大変危険だ!」、「ISが近くまで迫っていてテロに遭遇する可能性も!」ということでしたが、実際行ってみると会場周辺は警察や軍による厳重な警備が行われており、危険が迫っているという雰囲気は微塵も感じられませんでした。また、チュニジア政府からは、ホテル・会場間の送迎、レセプションへの招待などの多くのもてなしを受けました。会合では、先進国と途上国や地域間での対立がかなり見受けられましたが、最終的には妥協がなされ合意することができ、成功裏に終えることができました。この度プレナリーで議長を務めた元チュニジアテレコムCEOのMoktar Mnakri氏が、対立の続く会場をユーモアで和ませてくれたおかげだったかもしれません。その夜、会合後の深夜に宿泊先のホテルのロビーでMoktar Mnakri氏とお会いした際、握手させていただきました。

私自身、このような会合に携わる機会を得られましたこと、大変光栄に思っています。また、APTの準備会合から、チュニジア現地に深夜、早朝、土日にご対応いただきました関係者の皆様方には深く感謝いたしますとともに、関係者の皆様方には、次回WTSA-20の際にも引き続きのご支援、ご協力を賜れば幸いです。



ITUジャーナル

Vol.47 No.2 平成29年2月1日発行／毎月1回1日発行

発行人 小笠原倫明

一般財団法人日本ITU協会

〒160-0022 東京都新宿区新宿1-17-11

BN御苑ビル5階

TEL.03-5357-7610(代) FAX.03-3356-8170

編集人 森 雄三、大野かおり、石田直子

編集協力 株式会社クリエイト・クルーズ

©著作権所有 一般財団法人日本ITU協会



一般財団法人 日本ITU協会