

四国情報通信懇談会 平成 28 年度 調査研究事業  
調査研究名：地域 BWA を利用した構内音声網構築のフェージビリティ調査

調査研究活動報告書

愛媛大学 医学部 木村映善・蒲生祥子

平成 29 年 3 月 31 日

§ 調査研究の背景

医療機関では、医療従事者のコミュニケーション基盤として構内 PHS が利用されている。医療情報システムの高度化に伴い、音声通話と医療情報を高度に連携可能な端末としてのスマートフォンへの置き換えが切望されている。しかし、構内 PHS に代わる次世代通信基盤の制度設計、代替製品の普及は進んでいない。

すなわち、構内において、患者の生命に関わるような緊迫したコミュニケーション手段に資するような高信頼性の通信を確保する手段が技術的・制度的に未整備である。

また、構内に閉じたコミュニケーション基盤から、地域に開かれた基盤への転換も求められている。非常時の通信手段の確保は、対応力の早期回復と増加に不可欠な要素として求められている<sup>1</sup>。外部通信手段として、防災行政無線や衛星通信電話等、外部との通信手段の確保が考えられる。また、内部通信手段として院内 PHS が利用不可能な状態の場合、トランシーバーの確保が考えられる。しかし、これらの通信手段を非常時に速やかに展開できる体制を整えるのは財政的、運用面でも医療機関に負担を求めるものである。通常利用している構内 PHS が、構外でも利用可能な携帯電話に移行し、災害・障害に対する耐性を確保できれば、外部・内部通信手段を統合し、かつ平常と同様なオペレーション環境を確保可能になるという点において、医療機関の BCP 対応が強化されることが期待される。

---

<sup>1</sup>厚生労働省 「病院における BCP の考え方に基づいた災害対策マニュアルについて」平成 25 年 9 月医政指発 0904 第 2 号 <http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10800000-Iseikyoku/0000089048.pdf>

一方、総務省は地域の公共サービスの向上やデジタル・ディバイド(条件不利地域)を解消するために、地域広帯域移動無線アクセス(地域 BWA) システムの普及を推進してきた。そして、本調査事業を担当した研究者が所在している愛媛県において、愛媛 CATV は地域 BWA の高度化方式(TD-LTE)の免許を取得した。この地域 BWA で利用可能な Band41 対応のスマートフォン(以下、携帯)について、技適を取得したものが昨年から発表されるようになっている(2016 年当時)。

そこで、構内 PHS に代えて施設近隣に地域 BWA の基地局を設置し、Band41 対応のスマートフォンに SIP クライアントを導入して、VoIP over TD-LTE を構築することで、PHS 内線網に代わる音声通信網を構築することを着想した。ただ、大規模な実証実験に先立ってのフェジビリティ調査が必要である。すなわち、(1)現在、構内 PHS は日中同時 1200 台程度稼働している。そのため、汎用的な携帯を使用することでコストを抑制しつつ、従来の構内 PHS と同等の通話環境を実現する必要がある、(2)VoIP over TD-LTE に関する運用報告は 2016 年 5 月時点で確認されていない、という事情を踏まえ、本調査は下記の様に目的を設定した。

## § 調査研究概要

本調査事業は愛媛 CATV が構築する地域 BWA、Wi-Fi、L2-VPN の各種通信サービス利用し、高度な医療情報基盤構築のフェジビリティ調査を行う。情報セキュリティや通信の信頼性に対する要求水準が厳しい医療分野でのインテグレーション経験を通して、IoT 時代の地方における通信サービスのあり方を整理し、継続的な通信事業として成立させることがねらいである。すなわち、(a)構内 PHS に代わる高度な通信環境の整備、(b)IoT デバイスを保護するための安全なネットワーク環境の整備、(c)入院～在宅医療にまたがった介入をシームレスに展開する環境整備、(d)IoT 機器からのデータ送信・突合環境におけるプライバシー保護の実現を目指す。具体的には、地域 BWA で使用される Band 41 に対応した携帯の市場状況・技適通過状況の調査を行い、検証用端末を選定する。その上で、VoIP over LTE を構築し、通信品質評価、ナースコール連携を前提とした一斉鳴動や情報システムとの連携、バックアップの無線 LAN との切り替え等の検証を行う。最後に調査事業の総括として、他通信技術の導入・運用に関する比較調査や、医療機関への本技術導入における課題について整理する。

## § 調査研究項目

## (1) Band 41 に対応した携帯の市場状況・技適通過状況の調査

本調査研究受託後、携帯の市場状況、スペック、技適通過状況の情報を収集し、資料をとりまとめる。

主な調査事項は、各国の Band41 の周波数帯利用状況、Band41 対応携帯のスペック、特に医療や行動センシングに関わりの深い仕様（各種センサー、NFC、Bluetooth）、技適の適合状況について調査する。調査終了後、検証対象となる数機種を選定し、検証用機器として使用する。

なお、スマートフォンの進歩は日進月歩であるため、現時点でフラッグシップモデルであっても実用化した数年後には現状の低廉なスマートフォンと同等の価格帯で市場に投入されるようになるであろうこと、また実用化した時にどのような業務レベルまでサポート可能であるかを見据えるため、敢えて現状でのハイエンド機種を購入するものである。同時に、導入可能性・最低性能を見極めるために、現状で低廉なスマートフォンも併せて購入して検討する。

## (2) VoIP over TD-LTE の実証

IP-PBX の実装である Asterisk を稼働させる。携帯には SIP、音声コーデックの詳細なパラメータ設定が可能な VoIP クライアントソフトウェアを導入する。以下、順に測定を実施する。

### (a) TD-LTE の通信環境の品質評価

松山市内にて、愛媛 CATV の TD-LTE に接続し、阪神電鉄のコアネットワークを介した品質評価を行う。帯域、遅延、ジッタリングを 24 時間、1 時間ごとに数分、2 週間にわたり観測を実施する。携帯で自動的に計測するツールを構築するのは工数が大きいので、調達した携帯でもっとも性能のよい機体でテザリングを設定し、PC から自動計測ツールを実行させる。

### (b) VoIP over TD-LTE 上での音声の品質評価

本調査で調達した 2 台のスマートフォン間において、VoIP の設定を行い、音声通話の品質評価を実施する。

### (c) 一斉鳴動の検証

Asterisk でナースコールと同様な一斉鳴動の挙動をする設定を行い、数台のスマートフォンを一斉鳴動させる検証を行う。一斉鳴動の呼び出しから全端末が着信するまで

の所用時間を確認する。

(d) Wi-Fi と TD-LTE の切替

Android 携帯に Wi-Fi の 802.1X 認証の設定を行い、城北キャンパス上で展開されている愛媛 CATV の Wi-Fi サービス、地域 BWA 間の切り替えを行い、正常に通信が出来ることを確認する。

(3) 他技術との導入・運用に関する比較調査

構内 PHS の特長として、停電時でも通信可能であること、低廉に増設可能であり、容易に構内の通話可能範囲を広げることが利点であることが挙げられる。本研究で検証する、TD-LTE、構内 PHS、VoWLAN、全国 MNO の携帯通信網を使う場合の通話品質の信頼性、停電対策、医療機器や人体等への影響、関連する諸制度等について調査し、報告書としてまとめる。

§ 地域 BWA 対応機器の登録状況

現在、日本でスマートフォンを販売するためには技術基準適合証明を事前に取得している必要がある。この技術基準適合証明を受けた機器は総務省の Web サイトで公開されている<sup>2</sup>。地域 BWA の制度が始まったのは平成 19 年<sup>3</sup>であり、さらに地域 BWA の高度化システム導入に伴う制度整備が始まったのは平成 26 年 10 月、各事業者への高度化システムの無線局免許が付与されたのが平成 27 年 8 月以降である。そこで、2015 年 1 月から調査時点での 2016 年 5 月にかけて技術基準適合証明を受けた機器のうち、証明規則第 2 条第 54 号に規定する特定無線設備 次世代 PHS 用陸上移動局、電波の形式 2545～2575MHz (30MHz 幅) を条件として検索し、証明日ごとに登録状況の累積集計を実施した。

---

<sup>2</sup> 総務省 技術基準適合証明等を受けた機器の検索 <http://www.tele.soumu.go.jp/giteki/SearchServlet?pageID=js01>

<sup>3</sup> 総務省総合通信基盤局 電波部 移動通信課 地域 BWA 制度の概要 Ver1.4  
[http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/system/ml/area\\_bwa/002.pdf](http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/system/ml/area_bwa/002.pdf) 平成 29 年 3 月

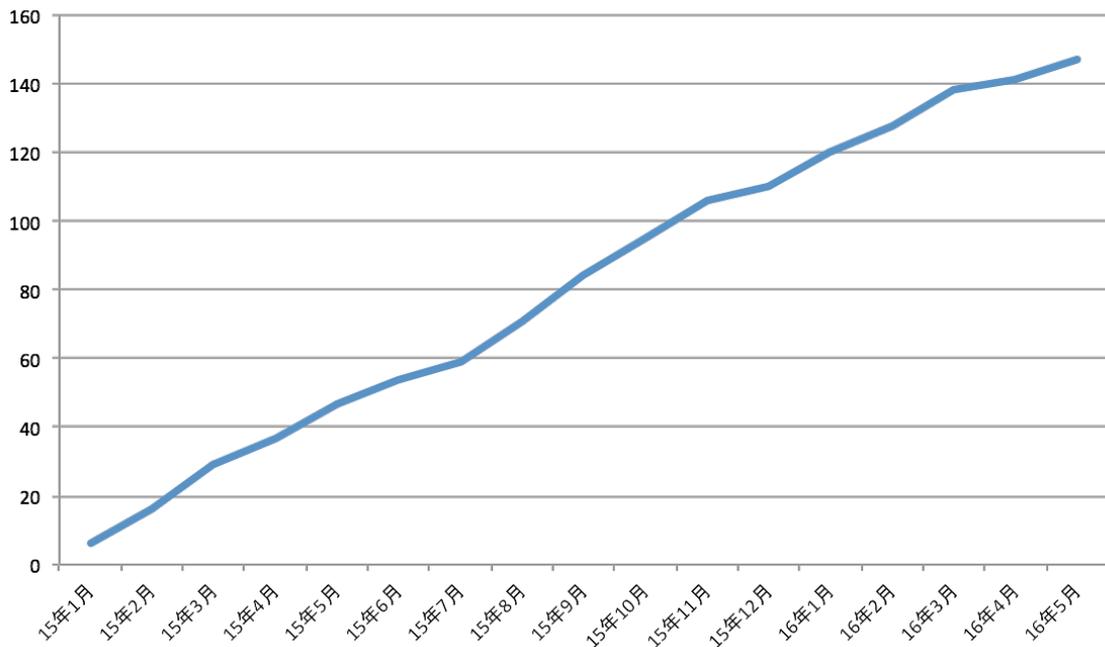


図1 技術適合証明等を受けた機器数

実際には、ファームウェアレベルで対応していなかったり、初期製造ロットではなく、次期以降製造ロットのファームウェア対応としていたり等、届け出された端末が直ちに地域 BWA で利用できないことを留意するとしても増加傾向を維持していることが窺える（図 1）。しかし、大手携帯電話事業者に対応しているスマートフォン等、市場全体からみれば地域 BWA 対応の端末は少なく、ユーザにとっての選択枝は少ない。

一方、メーカーごとの地域 BWA 対応の端末の数を調査すると、Samsung、シャープ、LG Electronics、HUAWEI、京セラ、ソニーモバイル、Apple 社の海外でもシェアが大きい会社のスマートフォンで占められている（図 2）。2016 年の国内携帯電話端末出荷概況報告<sup>4</sup>によると、1 位は Apple、2 位はソニーモバイル（以下、ソニー）、3 位：京セラ、4 位：シャープ、5 位：富士通の順となっており、かつ大多数は国内携帯電話事業者でのみの利用が可能な状態で端末を出荷している。ハードウェア的には TD-LTE の通信も可能なモジュールを搭載しており、大手携帯電話事業者向けのスマートフォンであっても、地域 BWA に対応した帯域での技術基準適合証明を取得すれば通信できる可能性があるが、その技術基準適合証明を取得していないことが窺える。後述するが、地域 BWA を制度的に支援するには、新規に出荷するスマートフォンについては、国内で通信可能な帯域に関しては全て技術基準適合証明を取得するように誘導する政策が有効であると

<sup>4</sup> MMRI 株式会社MM総研 2016 年国内携帯電話端末出荷概況 <https://www.m2ri.jp/news/detail.html?id=224> 2017 年 2 月 9 日

思われる。

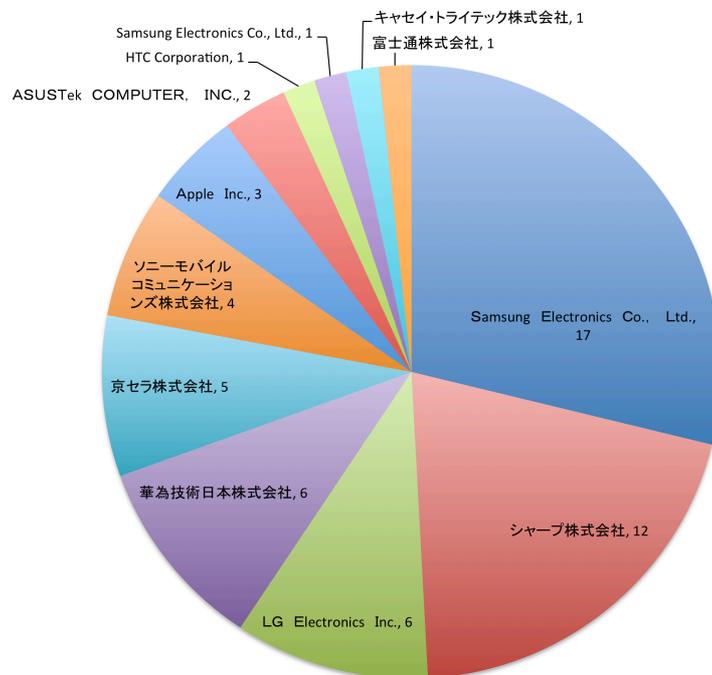


図2 メーカー別地域 BWA 対応端末の個数

また、医療向けに、NFC、RFID の読み込みが可能な地域 BWA 対応端末を検索したが、希少であり国内で使用が確認できたものは NFC リーダを外部に装着できるもののみであった (Asus ZenPad 等)。

医療分野では医療安全管理のために、患者認証やバイタルサイン、血糖値の取り込みのために RFID を使う事例が増えており、医用関連の端末として利用可能なスマートフォンの増加が望まれる。前述したように、地域 BWA に利用可能な携帯端末を増加させるような施策が望まれる。

#### § 地域 BWA のスマートフォンの選定

2016 年 10 月時点で、愛媛 CATV が提供する地域 BWA に接続可能なスマートフォンのうち、最もハイスペックな端末を 2 台調達した。

ASUS 社 ZenPhone3 のスペックは下記の通りである。(メーカ Web サイトより引用)

OS Android5.1

ディスプレイサイズ 5.0 インチ

メインメモリー容量 3GB

16GB (Micro-SD で 128GB まで増設可能) カメラ 背面 800 万画素/前面 200 万画素

CPU : MT6735P/1.0GHz/Quad-core

バッテリー容量 2150mAh 連続通話時間 約 6 時間 連続待ち受け 250 時間

#### § VoIP で使用するソフトウェア、Codec の選定

最終的に医療機関構内で使用されている PHS を置き換えることを目標として設定しているため、VoIP 環境の構築は医療業務に使える品質でありながら、コストパフォーマンスの良いものである必要がある。可能であれば、業務アプリケーションに低廉に組み込めるようにオープンソースのものであり、ライセンス料金の低廉なものを選定した。Codec については、様々な帯域において高品質な成果を出し<sup>5</sup>、かつ一定条件下での無償利用の許諾<sup>6</sup>、オープンソースで提供されている<sup>7</sup>Opus を採用した (図 3)。SIP クライアントについては、オープンソースの Linphone を採用した。(但し、後述の音声品質評価の時には、音声品質がよいという評価が多かった Zoiper<sup>8</sup> (有償) を利用している。)

---

<sup>5</sup> Jean-Marc Valin - <http://opus-codec.org/comparison/>

<sup>6</sup> Opus License <https://opus-codec.org/license/>

<sup>7</sup> Modern audio compression for the internet <https://github.com/xiph/opus>

<sup>8</sup> Zoiper <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.zoiper.android.app&hl=ja>

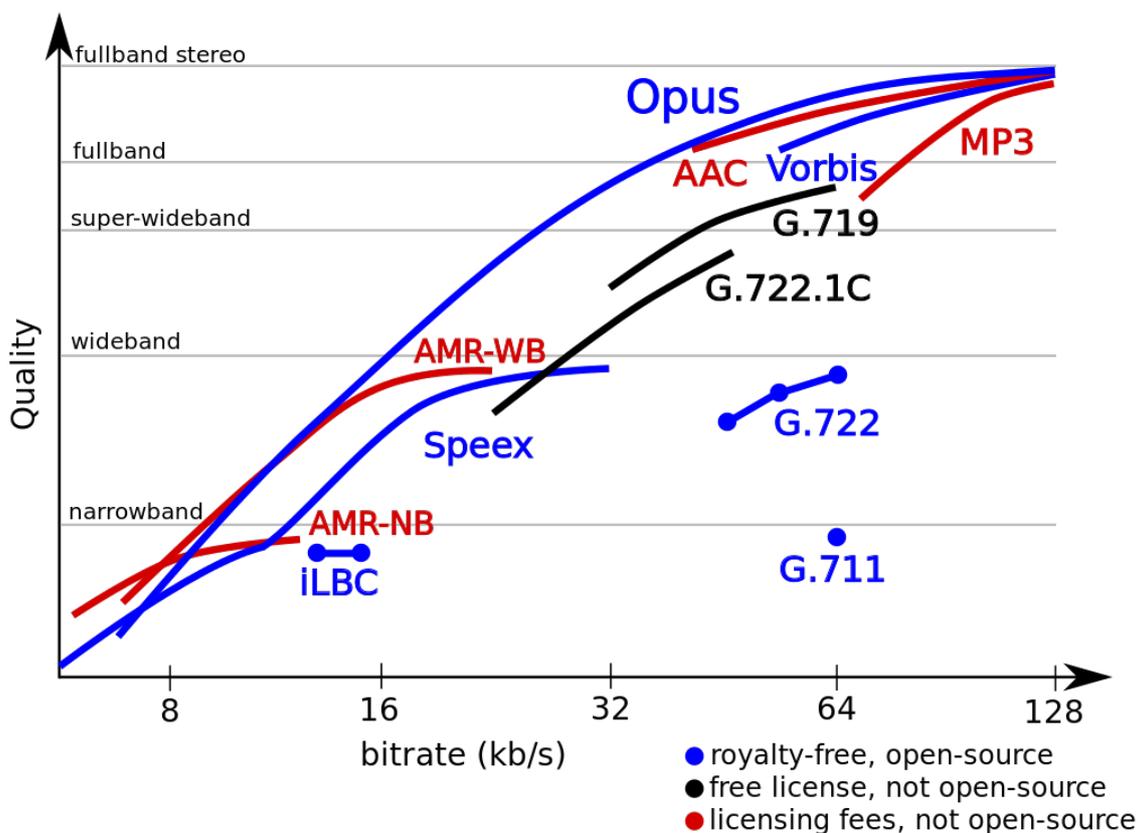


図3 各種コーデックの帯域と音声品質の対応（文献5より引用）

### § ナースコールの同時呼び出しを想定した試験環境

当院では、同時の呼び出しや通話が重なると PHS が輻輳状態になる。この点に関しては IP 電話の方がスケーラビリティを確保しやすい。ただ、これまでの PHS に代わる取り組みは構内無線 LAN を利用した音声系の構築が中心であり、地域 BWA を利用した音声系の構築は医療分野では前例がない。そこで、(1)同時呼び出しの検証、(2)ナースコールの連動可能性について検証した。

#### (1) 同時呼び出しの検証

現在、地域 BWA のコアネットワークにおいてユーザ個別に L2 回線を提供するサービスがないため（技術的には可能である。）、構内のナースコール、IP-PBX と地域 BWA のスマートフォン間での L2 接続を実現するための検証環境を構築した。

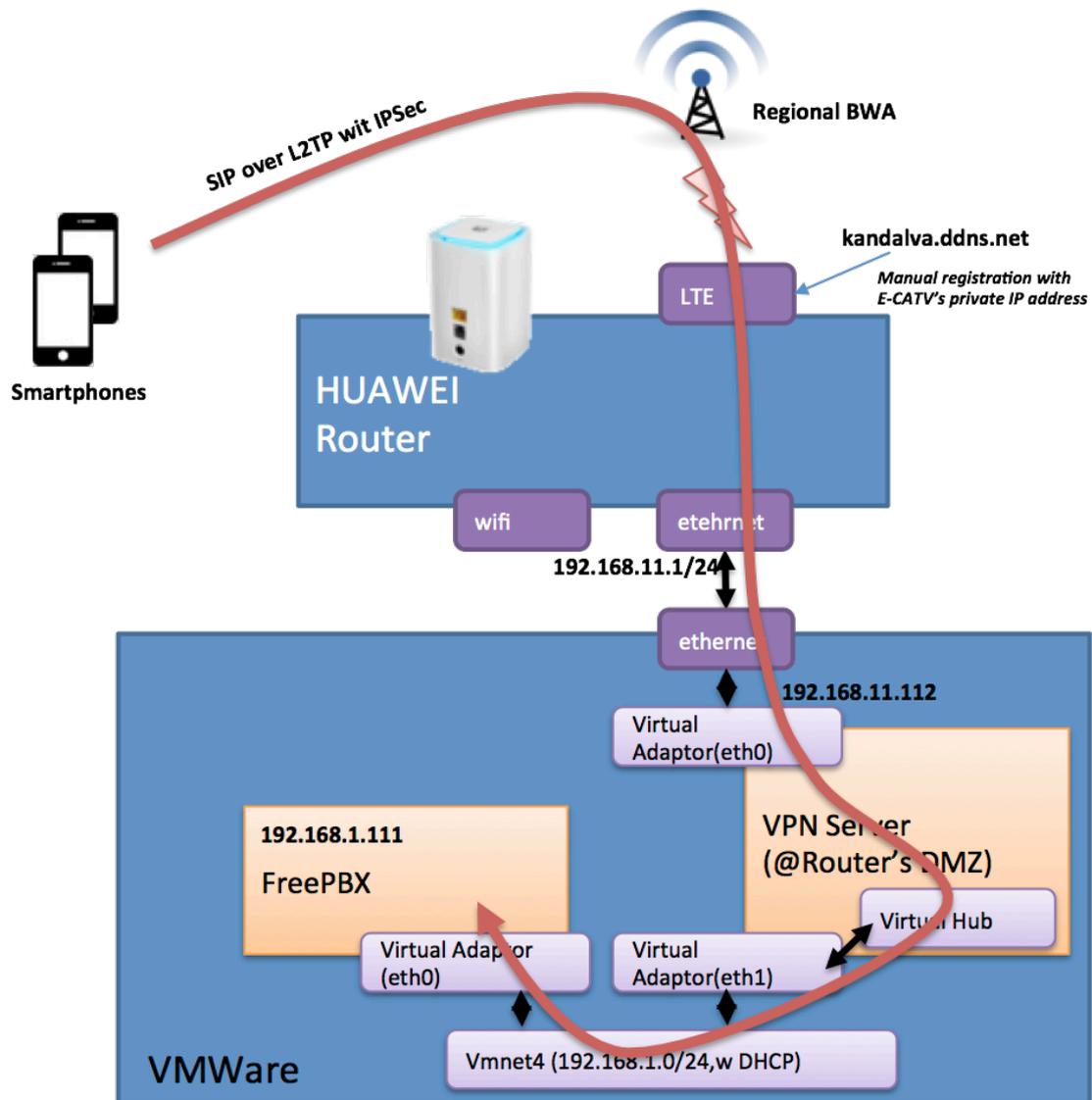


図 4 地域 BWA における同時呼び出しの試験環境

構内環境として、IP-PBX として Asterisk のディストリビューションである FreePBX<sup>9</sup> を構築した。この FreePBX に対して、構外から地域 BWA スマートフォンが L2-VPN で接続できるように、VPN ルータを設置した(図 4)。VPN ルータはソフトイーサ社の PacketiX VPN<sup>10</sup>で構築し、L2TP/IPSec の VPN サーバを構築する。Android OS に内蔵されている L2TP/IPSec 機能を使い、IP-PBX が設置されているプライベートアドレスへは PacketiX への L2TP/IPSec トンネルを経由して接続する。これら FreePBX、PacketiX のサーバは MacOSX の VMWare Fusion 上に 2 体の仮想マシンとして構築し、仮想ネットワーク

<sup>9</sup> FreePBX <https://www.freepbx.org/>

<sup>10</sup> ソフトイーサ PacketiX VPN <https://www.softether.jp/1-product/11-vpn>

(vmnet4)で PacketiX、FreePBX を連結した。また、物理インタフェースは PacketiX の仮想マシンにバインドし、HUAWEI 社の地域 BWA 対応ルータに接続する。地域 BWA ルータでは PacketiX の仮想マシンから接続されているイーサネットを DMZ に指定し、外部からの接続を転送している。現状、地域 BWA では固定 IP のサービスはないため、DDNS サービスを利用し、接続ごとに IP アドレスが変わっても同じホスト名で外部から特定できるようにした。

実験に先立ち、HUAWEI 社のルータを地域 BWA に接続し、DDNS サービスを更新して最新の地域 BWA の IP アドレスを取得する。地域 BWA のスマートフォンの VPN 接続設定で、IPSec/L2TP の接続先として先ほど取得した DDNS の IP アドレスを設定し、VPN 接続を確立する。L2TP/IPSec の VPN 接続確立後、その VPN の仮想インタフェースは、vmnet4 の仮想ネットワークから DHCP で構内のアドレスを割り振られる。スマートフォンで起動されている SIP ソフトウェアは FreePBX にレジストレーションして、各内線番号と VPN 上の IP アドレスとの対応付けを完了する。各スマートフォン同士、及び IP-PBX 間は L2TP/IPSec によってレイヤ 2 レベルでの導通性を確保しているため、SIP で問題になる NAT アドレス越えやパケットのフィルタリングの問題は回避される。当然、地域 BWA のコアネットワーク間を 2 度往復（地域 BWA スマートフォンから、地域 BWA のコアネットワークを通り、折り返して地域 BWA ルータに入り、VPN ルータと通信し、さらに地域 BWA 対応ルータから出て地域 BWA のコアネットワークを通り、相手方の地域 BWA のスマートフォンに到達するという経路をとるため）することによる遅延やパケットロスが発生するが、今回の主眼は地域 BWA での L2 サービスが提供されたことを想定しての同時呼び出しと通話性の確認であり、通信環境は最低レベルの品質を想定するという名目で許容している。

構内の無線 LAN に接続されたスマートフォン、PC および地域 BWA のスマホに IP 電話の Extension を割り振り、それらの Extension を Ring Group に追加した。Ring Group に追加された Extension に紐付けられた端末は、当該 Ring Group の Extension が呼ばれたときに一斉に鳴動する（実際には複数の SIP 呼び出しが高速に行われる）。

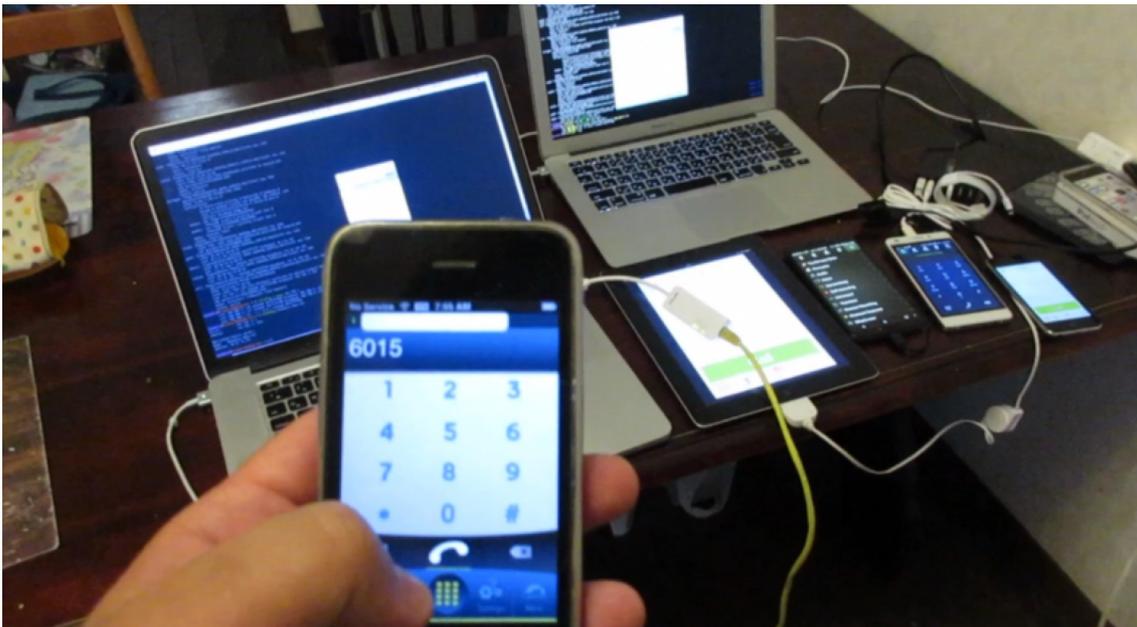


図 5 一斉鳴動確認の様子

本システムを構築して、構内の Wi-Fi に接続されているスマートフォンから Ring Group へかけた。この呼び出しは、同じく構内にある IP-PBX から構内の Wi-Fi に接続されている各端末群および L2TP/IPSec を介して地域 BWA のスマートフォン群に呼び出しが行われる。Wi-Fi に接続された端末と遜色ない反応時間で地域 BWA のスマートフォンにも呼び出しがかかり、ほぼ同時に 6 台の端末が一斉鳴動することが確認された。前述したように SIP の特性上、呼び出しのパケットは UDP で構成されており、同時（実際は同時に見える）の呼び出し性能は IP-PBX サーバの性能および回線の帯域が主な制約であることから、6 台以上の端末でも瞬時に一斉鳴動できることが予想される。

## (2) ナースコールの連動検証

ナースコールの連携について阪神電気鉄道とケアコムに協力をお願いした。同じくユーザ専用の L2 接続はないが、こちらは阪神電気鉄道のコアネットワーク上で実施したため、グローバル IP アドレスで検証を行い、ネットワーク構成として直の L2 接続とほぼ同品質・環境としての検証となっている。ナースコールは SIP フォンと連動するために、IP-Exchanger<sup>11</sup>を導入しており、この IP-Exchanger との連携の検証が行われた。

検証の結果、ナースコールから IP-Exchanger を通して地域 BWA のスマートフォンが

<sup>11</sup> ケアコム IP-Exchanger

[https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/partners/partner-with-cisco/solution-partner-program-spp/solutions/carecom-ip-exchanger.html](https://www.cisco.com/c/ja_jp/partners/partner-with-cisco/solution-partner-program-spp/solutions/carecom-ip-exchanger.html)

呼び出せることが確認された。地域 BWA 事業者から病院まで L2 ネットワーク接続のサービス品目を加えれば、地域 BWA を利用したナースコール、構内通話環境を構築し、サービス提供できる可能性が示された。

### ケアコム ナースコール・地域BWA連動試験 システム構成

2016年10月20日  
(株)ケアコム  
阪神電気鉄道(株)

試験実施日: 2016年10月19日(水)、20日(木) @ 阪神ケーブルエンジニアリング 野田ラボ  
VoIPサーバとIP Exchangerに直接グローバルIPを割り当てた(NAT越えを行わない)構成で、ナースコールとスマホ(VoIPアプリ)の連携確認ができた。

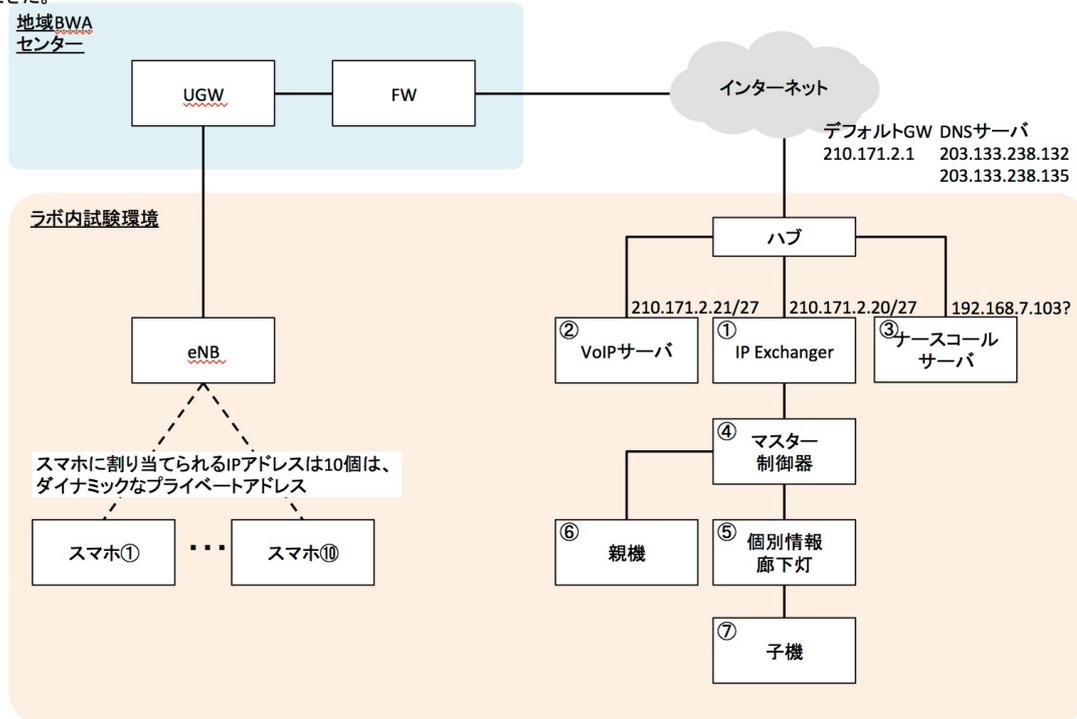


図 6 ケアコム・ナースコール・地域 BWA 連動試験の構成



愛媛大学医学部附属病院の正面玄関前、バス停留所、病歴病屋上でも地域 BWA の電波が確認されたが、病歴棟屋上の直下の室内に移動したところ、接続が途絶えた。附属病院構内では地域 BWA への接続は全く不可能な状態であった。

これらの結果から考えるに、docomo 等のキャリアに比較して、屋外に設置されている基地局からの構内への電波の到達性が低いという弱点が裏付けられた形である。PHS の代替として運用するには、対象とする構内から見通しのよい至近距離への基地局の設置、および死角をカバーするためのフェムトセルの設置が必須と思われる。

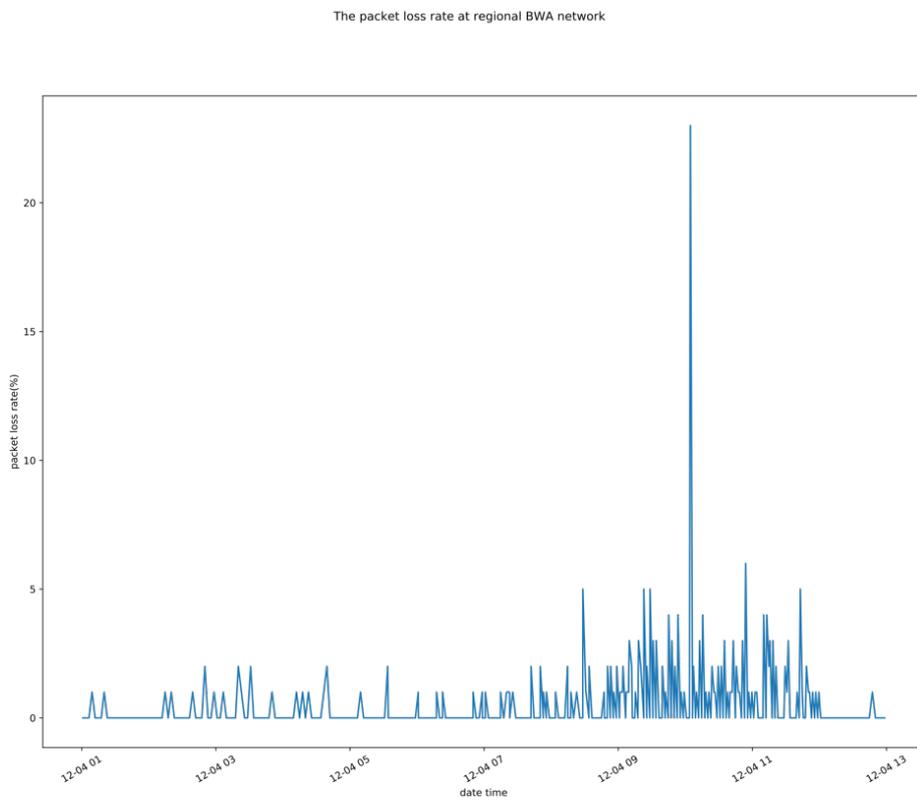


図 8 地域 BWA でのパケットロス率

The RTT statistics at regional BWA network

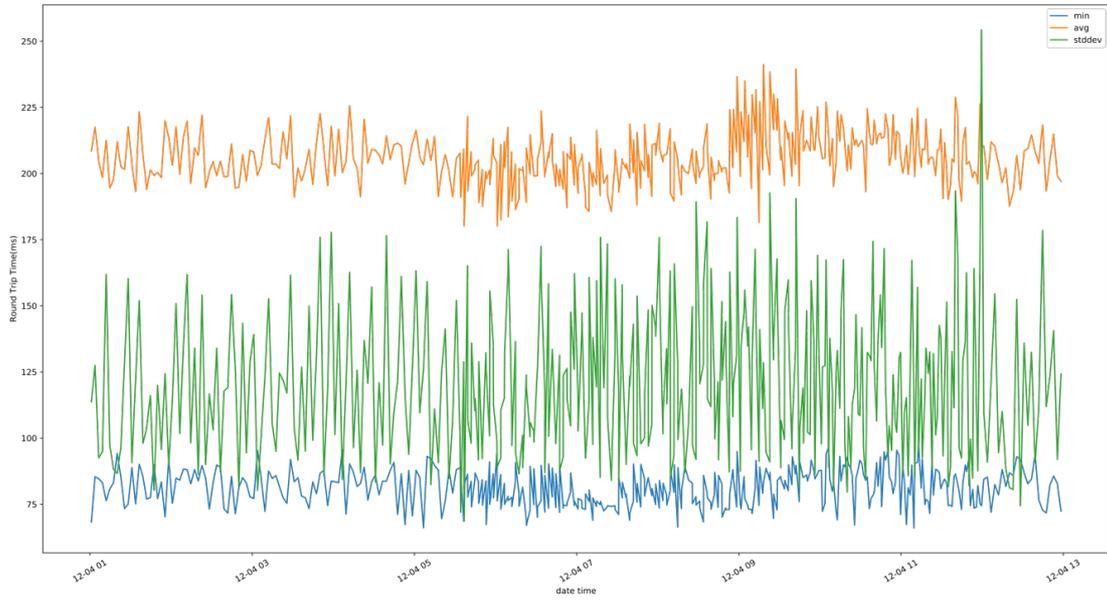


図 9 地域 BWA での RTT (Round Trip Time)



図 10 愛媛大学医学部附属病院での確認箇所

(b) VoIP over TD-LTE 上での音声の品質評価

§ 音声品質評価の必要性

医療機関に VoIP を導入した事例が報告されるようになってきているが、通話品質について医療従事者に対して調査報告した事例は 2016 年 10 月現在で確認されていない。VoIP 導入事例において、医療従事者による通話品質に関する主観的・客観的評価に乏しいのも導入を躊躇する原因の一つになっていると考える。

§ 音声品質評価法の選択

音声品質評価法には、主観評価と客観評価がある。主観評価については、MOS (Mean Opinion Score)、DMOS (Degradation Mean Opinion Score)、CMOS (Comparison Mean Opinion Score)、PC (Pair Comparison) 等がある。また、IP 電話の客観的な品質評価

については、情報通信技術委員会 (TTC、The Telecommunication Technology Committee) の「TTC 標準 JJ-201.01 IP 電話の通話品質評価法」<sup>12</sup>や、IP 電話の通話品質測定ガイドライン 第2版」<sup>13</sup>等で紹介されている。

本調査では、既に多くの医療機関で導入されている PHS からの移行可能性を検討するという観点から、医療現場で従来から PHS を使用している者の主観的な視点で評価頂くこととした。

厳密な主観的評価は、(1)多数の評価者、(2)専用の設備が求められる。同じ音声を受聴した場合でも評価者による個体差からの評価にばらつきがあるために、統計的に十分な品質を得られるサンプル数を確保する必要があるためである。後者については、評価の環境を統一し、再現性のあるものが求められている。すなわち、室内の騒音や反響の条件を揃えるために、音声品質評価のための専用個室を用意することが求められている。さらに、異なる実験間の評価値を比較できるようにするには、評価対象となる音声も統一することが求められており、例えば、ITU-T 勧告 P.810 に既定されているリファレンス音声を使用することがもとめられる。

しかしながら、これらの条件を全て満たして実験することは困難であること、かつ今回の主目的は PHS と比較しての評価がメインであるため、本調査以外の追試験とも比較できるような絶対的な指標の獲得を試みるものではなく、PHS と VoIP の相対的な比較が行える程度のもので十分とする。

ITU-P.800 で推奨されている方法として、Conversational-opinion test (会話オピニオン評価)、Listening-opinion test (受聴オピニオン評価)、インタビューと質問票による評価が紹介されている。本研究では医療現場の利用を想定した検証をおこなうため、会話オピニオン評価での評価を行う。

評価は、MOS のスケールに準じた 5 段階評価とする。前述した通り、MOS の主観的評価における基準ではなく、PHS との相対的な評価を行うための 5 段階評価である。

## § Codec の種類と選択

PHS はビットレート 32kbps/ADPCM(1984 年標準化)、IP 電話では 8kbps/CS-ACELP(1996 年標準化)が標準的な方式であり、それぞれの MOS はいずれも 4.2 である。一方、IP 電話に関してはコーデックの品質改良の試みが行われており、様々なコーデックが発表されている。本調査では、将来的には数千人規模の利用者に低コストで展開できるように、

<sup>12</sup> TTC 標準 JJ0201.01 IP 電話の通話品質評価法 一般社団法人 情報通信技術委員会  
[http://www.ttc.or.jp/jp/document\\_list/pdf/j/STD/JJ-201.01v8.1.pdf](http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-201.01v8.1.pdf)

<sup>13</sup> TTC 技術レポート TR-1054 IP 電話の通話品質測定ガイドライン 一般社団法人 情報通信技術委員会  
[http://www.ttc.or.jp/jp/document\\_list/pdf/j/TR/TR-1054v2.pdf](http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/TR/TR-1054v2.pdf)

無償で利用可能な高品質コーデックの選定を行った。Opus は IETF によって開発され、関連するソフトウェア特許はロイヤリティフリーにてライセンスされている。24Kbps からは他のコーデックと比較して高い MOS 値を実現<sup>14</sup>しており、地域 BWA のように広帯域の通信網では優位性を十分に発揮することが期待される。

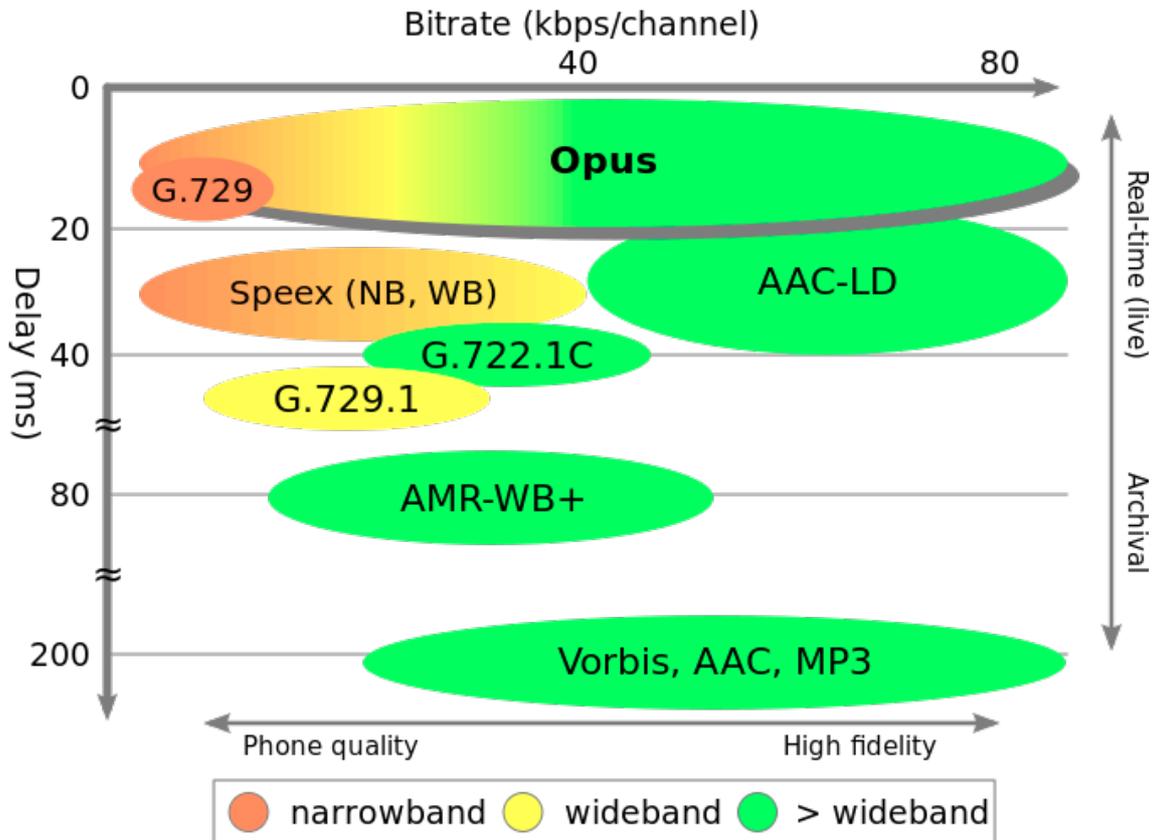


図 11 各コーデックのビットレートと遅延の関係（文献 14 より引用）

### § 音質評価に関する事情

愛媛大学医学部附属病院に勤務し、日常的に PHS を利用している医療従事者に協力頂いた。2016 年 12 月現在、地域 BWA は愛媛大学医学部附属病院構内をカバーしていない。既にカバーされている地域に数十名の被験者に移動してもらうことは困難であるため、研究室内に地域 BWA の環境を再現したうえで、医療情報部研究室にお越し頂いて実験を

<sup>14</sup> Rämö, Anssi, and Henri Toukoma. "Voice Quality Characterization of IETF Opus Codec." *INTERSPEECH*. 2011.

実施した。医療情報部研究室は、外来棟の廊下に面しており、時折患者の会話や移動が聞える程度であり、会話が阻害されるような騒音は発生しない場所である。

## § 事前環境調査

地域 BWA の携帯端末は地域 BWA の事業者内ネットワークでの折り返し通信となる。国内の Web サーバに traceroute を実施し、検出したプライベート IP アドレスで、最もインターネット側に近いと思われるものを折り返し地点として選択した。この折り返し地点として選択した IP アドレスに対して、屋外にて地域 BWA 対応スマホから 5 分の通話時を想定して 1 秒間隔、300 回の ping を測定した。結果、46.711msec(最小)、65.786msec(平均)、1737.367msec(最大)、91.872(偏差)、及びパケットロス率 0%となった。外れ値の存在で偏差が大きくなっており、実際の通信の RTT は 46msec 以下にはならない。遅延発生装置のパラメータの設定の関係<sup>15</sup>で、遅延を 66msec、19msec(平均-最小値)の jitter で設定する。

### ・ 音声品質評価環境の構築

これまでの検証に利用した FreePBX の環境を今回の音声評価用に組み直した。TD-LTE 通信環境を模するため、2つの無線 LAN のアクセスポイントを用意し、アクセスポイント間に遅延発生装置をブリッジ接続した。

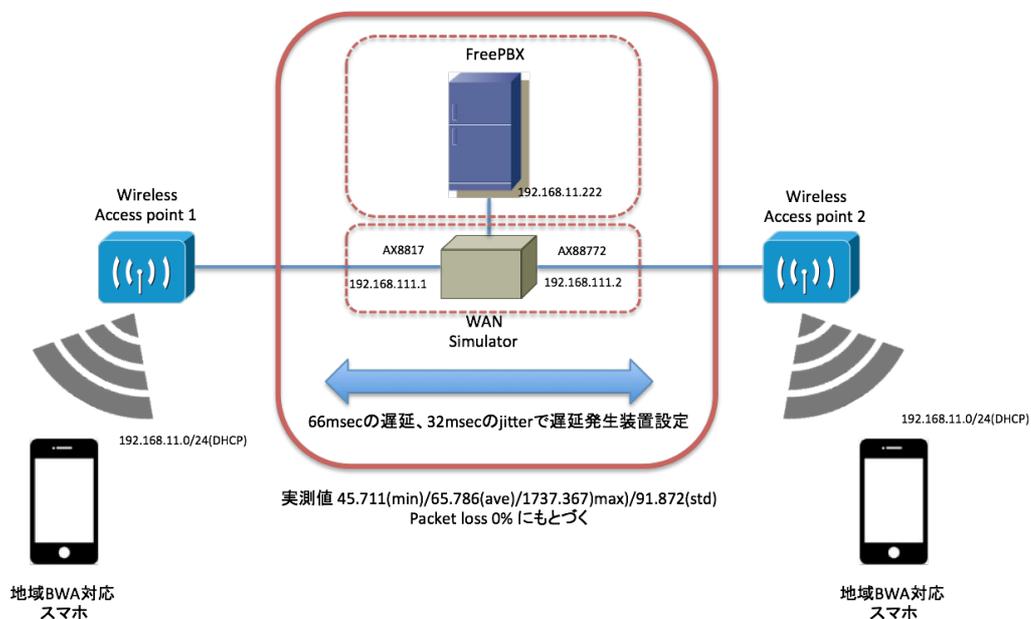


図 12 音声品質評価時のシステム構成

<sup>15</sup> 今回使用した遅延発生ソフトウェアでは、遅延、ジッタ、パケットロスの設定ができる。

ハードウェアの構成として、無線アクセスポイントに、Apple 社 AirMac Time Capsule を 1Gbps 有線～5GHz 無線 LAN 間のブリッジモードで稼働させたものを 2 台設置する。仮想環境として、MacBook Pro Retina 15-inch Early 2013 モデル(2.7GHz Intel Core i7、16GB 1600MHz DDR, SSD 512GB、macOS Sierra 10.12)、及び仮想環境ソフトウェア VMWare Fusion 8.5 を使用した。本 PC に、USB 接続タイプの Gigabit Ethernet を 2 本増設し、本 PC 上でホストしている WAN Simulator の仮想マシンにブリッジ接続した。地域 BWA 対応スマホからは無線 LAN アクセスポイント経由で WAN Simulator の仮想マシンを経由し、宛先の無線 LAN アクセスポイント経由で相手の地域 BWA 対応スマホに到達する。

WAN Simulator はオープンソースで公開されている WANem (The Wide Area Network Emulator)<sup>16</sup>を利用し、Knoppix ディストリビューション上で構成した。仮想マシン上に仮想イーサネットを 2 つ増設し、Linux のブリッジを構築後、WANem 上で遅延 65msec、ジッタ 19msec の設定を行った。

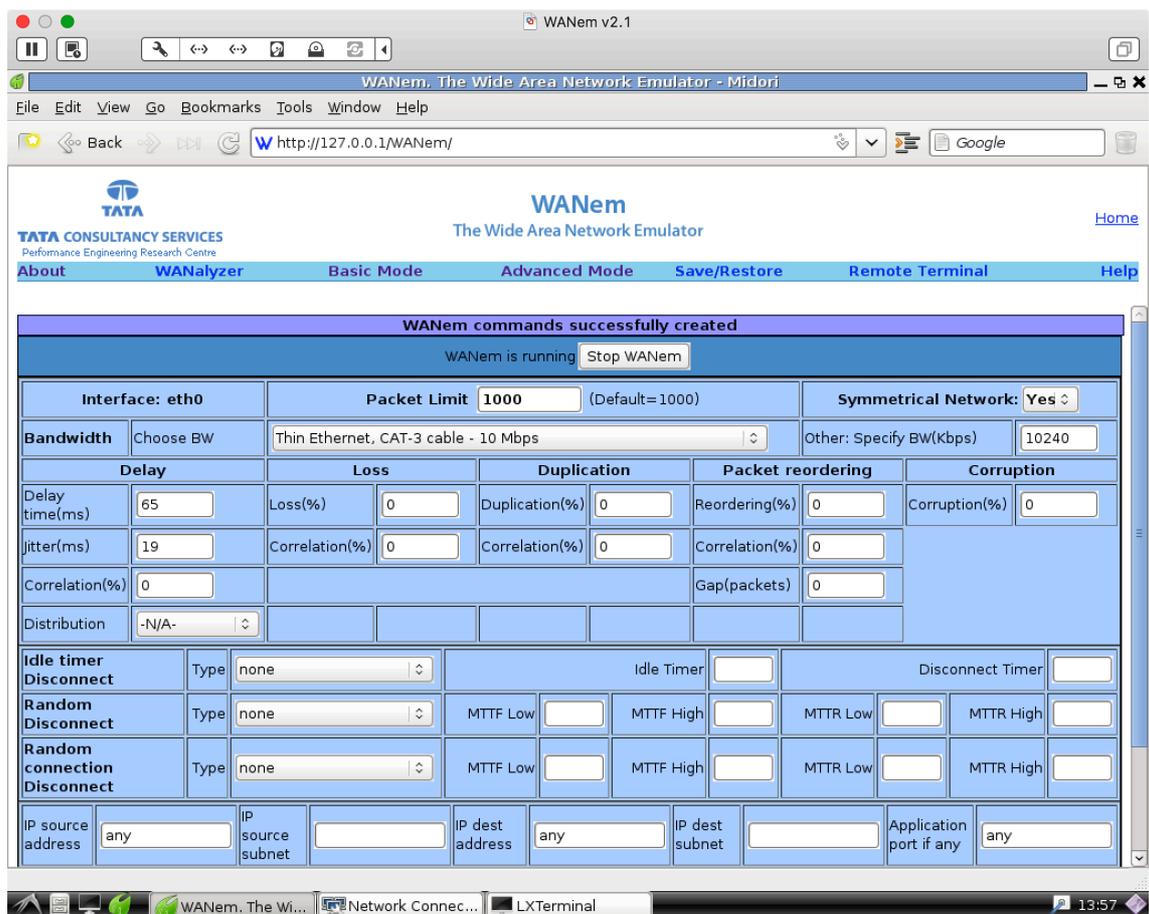


図 13 WANem の設定

<sup>16</sup> WANem <http://wanem.sourceforge.net/>

同じく同上 PC にて、FreePBX の Asterisk を起動し、地域 BWA スマホを登録した。スマートフォンは ASUS Zenfone 3 Z017DA (Android 6.0.1)、VoIP アプリケーションは Zoiper Pro を利用した。Codec には Opus Full (音声帯域 20kHz、サンプリング 48kHz)、エコーキャンセルを設定した。

#### ・音声品質評価の手順

当院で PHS を日常的に使用している医療従事者に協力して頂き、2 人単位でヒアリングする。先入観を防ぐため (PHS との相対的な比較と IP 電話の絶対的な評価の質問が並んでいるため)、質問票は対象者に記載を全て任せるのではなく、調査者あるいは、調査者の指示に従って対象者が順番に記載していく。2 人にスマートフォンを渡し、調査票 (付帯資料に別添) にそって口頭質問、スマートフォンを使用して対話、口頭質問、最後にフリーディスカッションを行なう。

質問票の各項目は下記の通りである。

- Q1 現在の PHS の音質 (聞えやすさ) についてはいかがでしょうか？
- Q2 現在の PHS の電波 (つながりやすさ) についてはいかがでしょうか？
- Q3 つながりにくい所があれば、具体的な場所をご教示ください
- Q4 スマートフォンの音質 (聞えやすさ) はいかがでしょうか？
- Q5 スマートフォンの音質は PHS に比べてよいでしょうか？
- Q6 その他 意見があれば自由にご回答ください。

#### § 結果

回答に協力頂いたのは看護師 23 名、医療従事者 (医療クラーク、医事課、医療情報係) 31 名、計 54 名となった。質問票の回答のうち、Q1, 2, 4, 5 の結果をリッカートスケールグラフで掲示する。「どちらでもない」回答をのぞき、中央から左側を「非常に悪い」「悪い」、同じく中央から右側に「良い」「非常に良い」を配置している。

Q1、Q4 については主観的絶対的評価、Q5 についてはスマートフォンを聞いたあとでの相対的評価となっている。Q1 において、PHS の音質についてはやや不満をもっていること (57.7%) が確認された。不満 (悪い) とした人は、事務 8 人 (26%)、看護師 1 人 (4%) であった。Q2 について、PHS の接続性に不満を持っている人が満足している人を上回った。不満とした人は、事務 17 名 (55%)、看護師 8 名 (35%) であった。Q4 でスマート

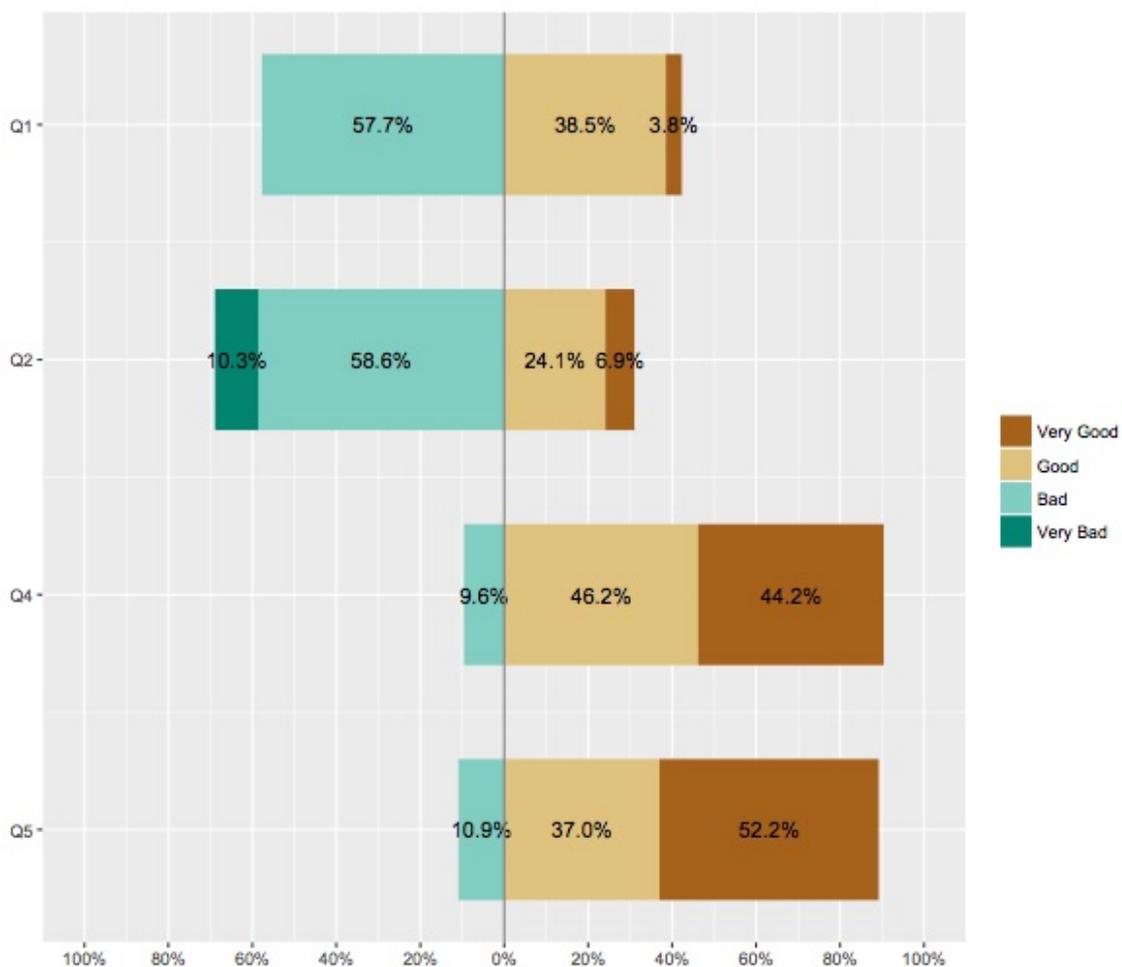


図 14 各質問に対する回答の分布

フォンの音質が良いとしたものは、事務 23 人(74%)、看護師 21 人(91%)であった。Q5 で、スマートフォンの音質が PHS より良いとした人は、事務が 24 人(77%)、看護師が 18 人(78%)であった。

Q2 の PHS の通話が困難な場所については、エレベーター(11 人)、階段(9 人)、移動中(8 人)、病棟の奥等、建物の隅(5 人)、その他に、1 号館の下のフロア全般、ICU が指摘された。自由回答では、スマホの音声の遅れ・ずれ・エコー(25 人)が指摘された。その他の指摘として、

- ・ PHS の方が耳に直接当てやすく使いやすい(同様 2 名)
- ・ PHS の方が小型で持ちやすい(同様 4 名)
- ・ スマホは落としてしまいそうで怖い
- ・ 既に導入する看護支援システムとして使っている iPod とスマホを統合化して欲

しい。

- ・ スマホは胸ポケットに入らないのでは。(同様2名)
- ・ バッテリーの持続時間が気になる。
- ・ PHS よりも外部(周辺環境)の音を拾っている
- ・ PHS は移動中でつながりにくい

## § 考察

医療従事者は構内で移動しつつ連絡する機会が多いため、移動中の通話に支障を感じている方が多いと思われる。エレベーター、階段でのクレームが多いのも、構内を移動していることと関係があると思われる。一方で、病棟の奥や敷地内など、アクセスポイントの設置が難しい場所への指摘もある。

LTE 網を使うことのメリットの1つに敷地内をカバーできること、フェムトセルとの併用によって死角をなくすような配置ができることがある。しかし、先述したように、地域 BWA の電波は構内に届きにくいことが確認されたため、やはり医療機関の敷地内あるいは至近の建築物上に基地局を設置した上での検証が必要と思われる。

現状の PHS は女性の手でも安定して持てるような小型のものである。スマートフォンを片手で持ちにくいことについての不安が聞かれた。いわゆる「ガラホ」と呼ばれる従来のフューチャーフォンのような形を要望されていた。日本での製品の多様性に乏しい地域 BWA 対応スマートフォンにとっては厳しい注文である。

音質については、PHS より音質は良いことが認められつつも、自身の声のエコーの問題が指摘された。これについては VoIP におけるコーデック、VoIP アプリケーション、スマホの調整が必要と思われるが、調査者の力量を越えるため、機会をみて無線 LAN/地域 BWA/LTE における一般的な VoIP に関する調査を改めて依頼したいと考えている。

以上、総括すると、地域 BWA に関して検討すべきは、(1)従来の PHS より広範囲をカバーできるように敷地内あるいは至近への基地局設置とフェムトセル設置による実証実験、(2)VoIP の専門家を加えて VoIP に関するチューニング、(3)スマートフォンの選択肢を増やせるように、総務省から国内販売をするスマートフォンに対して、B41 帯の技適の認証もまとめて通すように指導すること及びメーカーへの希望をあげる、ことが必要であると思われる。

### (2-d) Wi-Fi と TD-LTE の切り替え

医療機関でのコミュニケーションツールに求められている特性の1つに、耐障害性が

高く持続可能なコミュニケーションを提供することがある。構内に機材を設置する取り組みの弱点として、当該機材を設置した拠点が震災で倒壊した時に通信手段が壊滅することがある。各通信手段の比較は、「(3) 他技術との導入・運用に関する比較調査」でもまとめるが、ここでは PHS、構内無線 LAN（構内通話として総括する）の対比で検討する。

構内通話の課題は先述した通り、通信の基盤が損壊すると通信が途絶し、原状回復までに多大な時間が掛かることである。一方で、キャリア網を利用した音声通話を導入（慈恵医科大学附属病院等で導入済み）する方法もあるが、(1) キャリアとの通話料金の契約料金が高額なものとなる、(2) 院内の医療情報システムとの連携性に乏しい、(3)（他の地域での）災害等で輻輳や障害が発生したときに巻き込まれる可能性がある、といった課題がある。

そこで、構内通話における通信手段の多重化や、キャリア網などの併用により、通信に冗長性を持たせることができ、かつユーザに特別のリテラシーや教育の必要なく、その恩恵を受けられるような仕組みが望まれる。

本研究では、Internet Bonding という仕組みを利用して基本的な検証をおこない、VoIP 時代の耐災害性向上の可能性について論じる。

## § Internet Bonding について

Internet Bonding<sup>17</sup>とは、様々なインターネットの接続を仮想的な 1 つの接続として束ねて、冗長性や通信の高速化をはかる技術の総称である。クライアントから出たパケットは、帯域や遅延を考慮して各インターネットの接続（例：LTE、Wi-Fi、ADSL、FTTH 等）へパケットが送出される。それぞれ独自の経路を通り、集約装置（下記の図では” Bonding Server” に相当する）を経由し、本来に宛先にパケットを送信する。宛先からの帰りは再び集約装置に戻るため、戻りパケットに対応する、行きパケットが来た経路に個別に送り返す。それぞれの経路を経由してパケットはクライアントで再度集約され、クライアントアプリケーションに届けられる（図 15）。

---

<sup>17</sup> XRoads Networks “What is Internet Bonding?”  
[http://www.xroadsnetworks.com/internet\\_bonding/internet\\_bonding.html](http://www.xroadsnetworks.com/internet_bonding/internet_bonding.html)

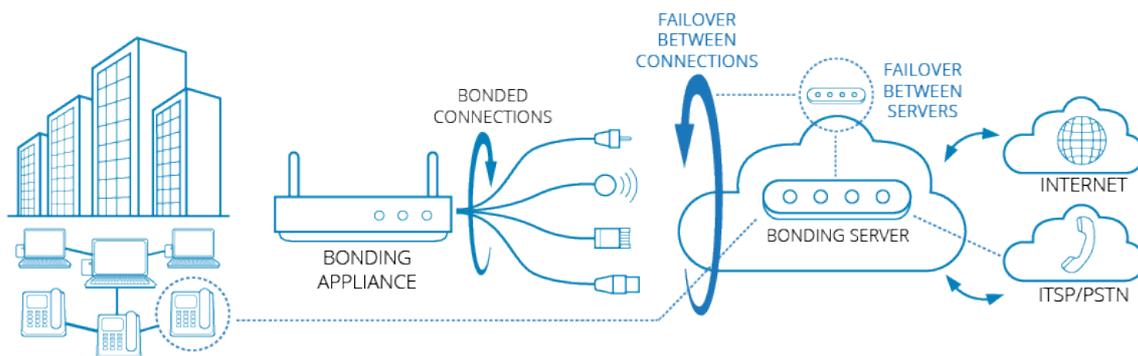


図 15 インターネットボンディングの構図

<http://itel.com/services/bonded-internet/>より引用

複数の回線を1本の仮想回線として束ねることにより、回線としての冗長性や帯域が向上することが期待される。ロードバランシング技術との違いは、ロードバランシングは複数のストリームを個別のストリームとして個別の回線に分散する。それぞれのストリームの最大の帯域は、個別の回線の帯域の上限である。一方、Internet Bonding は1つの仮想回線を複数の回線にパケットを分散し並行送受信するので、理想的には各回線の帯域の総和である帯域を持った回線として実現される。

企業のインターネットの接続に使われる場合は、クライアント側の Bonding クライアント対応ルータ、集約装置側の Bonding サーバが対向で配置される。Internet Bonding を提供する事業者もある。

モバイル端末上で直接 Internet Bonding を実現するソフトウェアとサービスを提供している会社の1つに Speedify<sup>18</sup>がある。本検証では Speedify を利用して Internet Bonding を検証する。

接続が切り替わっても継続して音声通話が可能であることを確認するために、連続した単調音を発するアプリケーション<sup>19</sup>からの出力を Sound Siphon<sup>20</sup>という仮想オーディオワイヤリングツールを利用して Skype のマイクからの入力として接続する。Skype は自動応答モードを設定する。スマホからの接続があれば、自動的に応答し、単調音をクライアントに対して継続的に流す。もし切断等によってパケットが届かなければ、継続していた音が途切れることで聴覚的に把握できる。使用した Asus Zen Phone 3 はデュアルSIM対応であるので、地域 BWA の SIM と docomo の MVNO である IIJ の SIM を挿入して利用した。

<sup>18</sup> Speedify <http://speedify.com/desktop-vpn/>

<sup>19</sup> Audio Signal Generator by Bill Farmer, GPLv2 licensed. <https://code.google.com/archive/p/audiotools/downloads>

<sup>20</sup> Sound Siphon <https://staticz.com/soundsiphon/>

Speedify の検証は、地域 BWA、Docomo 及び Wi-Fi (学内ネットワーク) の三者での切り替えを想定していた。しかしながら、地域 BWA の TD-LTE の接続の仕様が、Wi-Fi をオフにすると連動して地域 BWA の接続も切れてしまうという原因不明の挙動をし、解決できなかつたために、Docomo の LTE と Wi-Fi の切り替えで検証を行った。

Speedify では、VoIP の遅延を軽減するために仮想回線の暗号化の解除、冗長化優先 (既定では帯域優先)、P2P サーバへの接続を設定した。既定ではファイアウォール、NAT 下の接続となり、Skype でも疎通が確認されなかつたため、P2P 通信が可能な P2P サーバへの接続を設定した。Android 携帯の Skype からの通信は、Wi-Fi と LTE の 2 系統からそれぞれの経路を通して、オランダのアムステルダムに所在する P2P サーバに到達し、P2P サーバで割り当てられた仮想 IP から Internet にある Skype と通信する。Skype からの戻りパケットは再び P2P サーバに入り、適宜 Wi-Fi、LTE に分散されて、Android の Speedify 経由で Skype に入る。Wi-Fi と LTE を両方有効にした状態で Skype を接続して単調音が聞こえるのを確認してから、Wi-Fi の無効化、Wi-Fi の有効化後に LTE の無効化、LTE の有効化、及び LTE 無効化時に Wi-Fi を無効化してから LTE の有効化など、様々に各接続の接続・切断を繰り返し、音がどのようになるかを確認した。

## § 結果

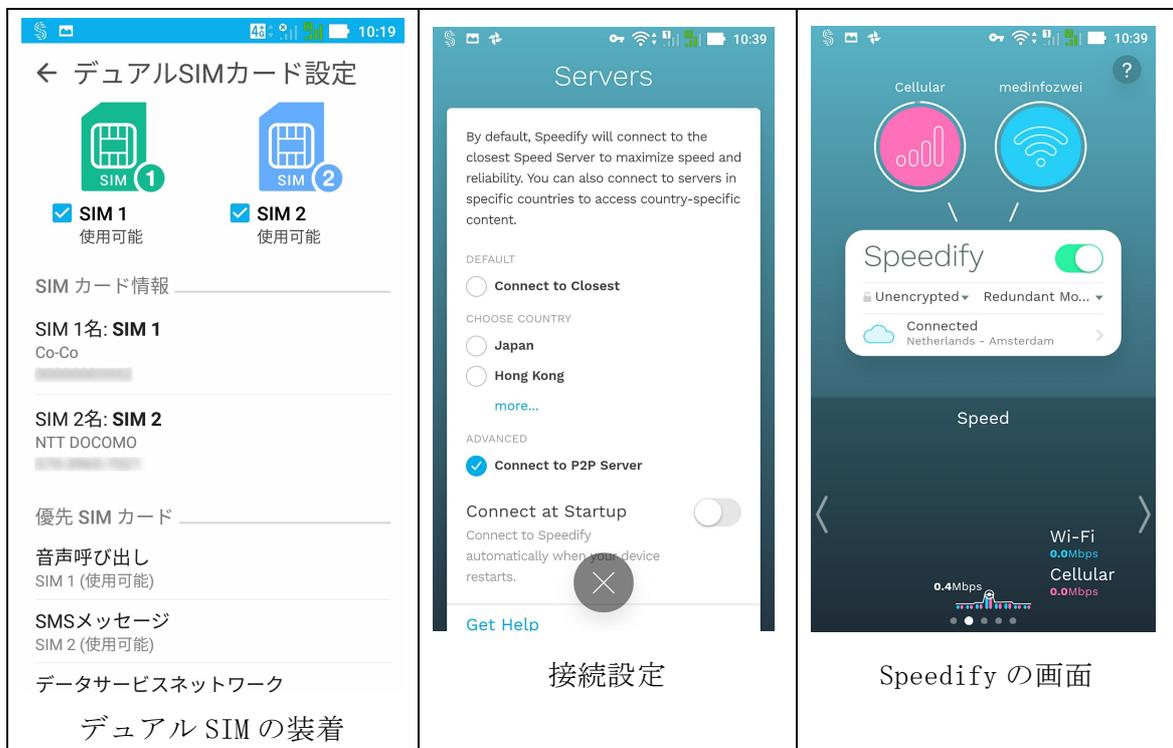


図 16 SIM の装着状況と Speedify の設定

Wi-Fi と LTE で送信されたパケット量の比率は 47.1MB:11.3MB (4.17:1) であり、Wi-Fi の方に強く通信を依存していた。

Wi-Fi/LTE 接続から Wi-Fi 切断

コンマ秒程度の無音が発生後、継続して聞こえる

Wi-Fi/LTE 接続から LTE 切断

同様にコンマ秒程度の無音が発生するが、Wi-Fi 切断より影響が少ない

Wi-Fi/LTE 停止から、LTE 接続もしくは Wi-Fi 接続

LTE の方が無音状態からの再開が早い。Wi-Fi は Wi-Fi 再接続に時間を要しているため、この時間の差によるものと思われる。

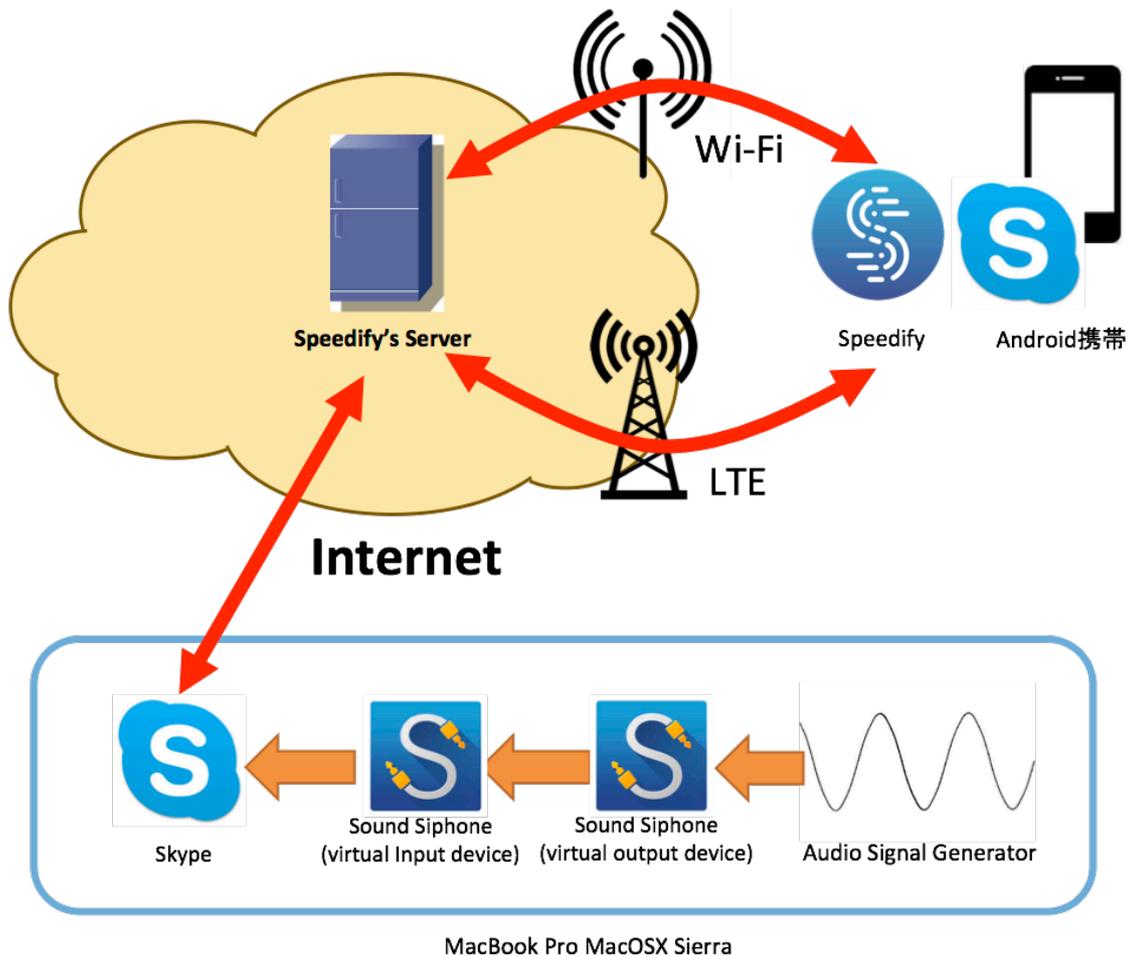


図 17 Internet Bonding の検証環境

今回の検証で用いた ASUS Zen Phone では無線 LAN、LTE の ON/OFF を行うために、上部からパネルを引き出すときに、一瞬画面が消えたり音が途切れたりするという事象が確

認められた。

### § 考察

Wi-Fi の ON/OFF の時に無音状態が発生する機会が LTE の ON/OFF より多いのは、通信量が約 4:1 の比率で Wi-Fi に偏重していること、Wi-Fi の再接続に時間がかかることが大きいと思われる。総じて、Wi-Fi/LTE の切り替えで瞬間的に無音になることが確認されたものの、Skype のセッションが終了することなく、支障なく通話できる可能性が確認された。この検証で Skype を利用したのは、SIP プロトコルで NAT や Firewall を越えたり、SIP サーバへの接続の設定が困難であったりしたためであり、簡易に検証できるようにとの意図からである。元々 Speedify は双方向の通信ではなく Web サーフィン等のエンドユーザーの利用に特化したものである。SIP を利用する場合は、双方向通信や SIP サーバの配置について配慮された Internet Bonding 環境を構築する必要がある。クラウド上に IP-PBX サーバを置くサービスは既に展開されている。地域 BWA の事業者の運営形態も考慮の上、下記の様な Internet Bonding 環境を構築すれば、オンプレミスの構内 VoIP の冗長構成を図れるのではないかと考える。

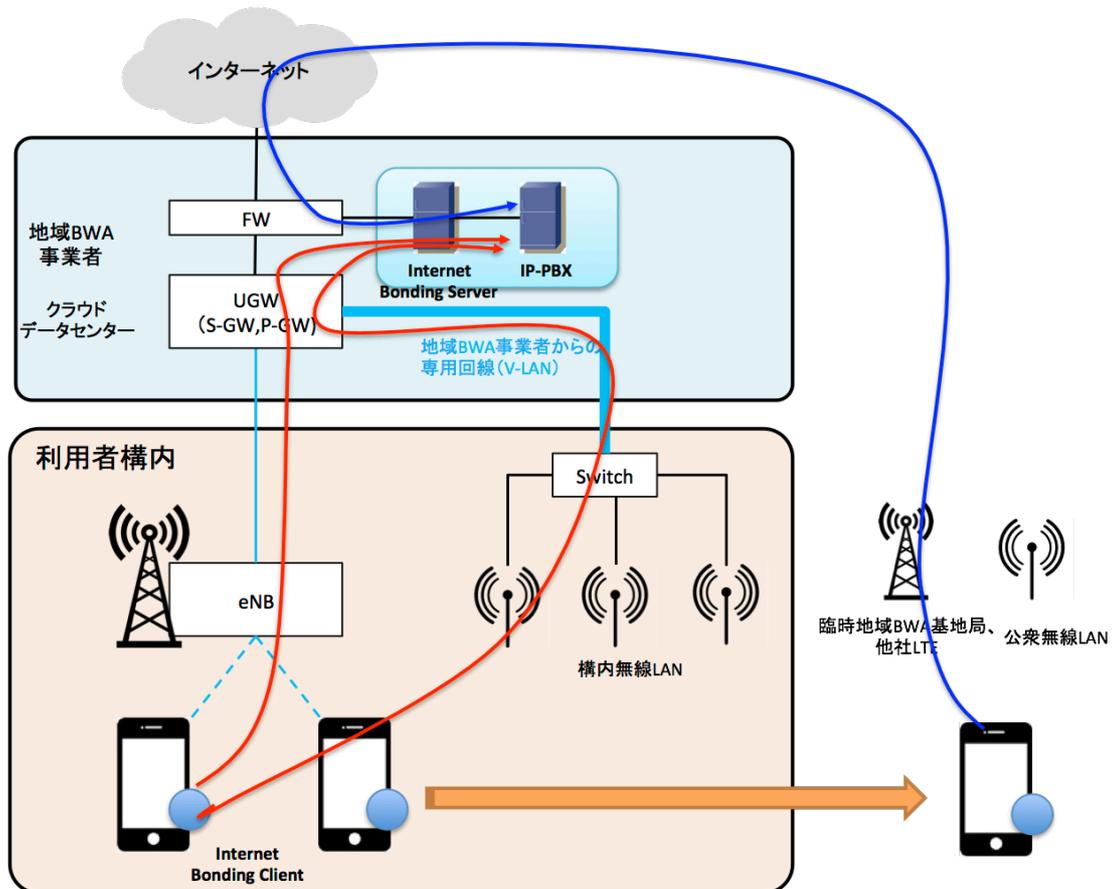


図 18 地域 BWA での Internet Bonding (案)

なお、VPN 技術と Internet Bonding の違いは、仮想的な経路を構築する点では共通しているが、複数の経路を1つの仮想経路として束ねて冗長性や実効帯域を向上させているところに違いがある。また VPN 接続も仮想インタフェースとして実装されるが、依存している実ネットワーク接続が切れると仮想インタフェースがダウンするため、それに伴いアプリケーションの接続が終了したりする。一方、Internet Bonding の場合は、ネットワークの接続状況が仮想インタフェースに与える影響は殆ど無く、代わりにアプリケーションレベルでパケットロスやジッタリングの形で観測されることが多い。

以下、実証実験を行う愛媛大学と地域 BWA を提供している愛媛 CATV のネットワークの概要を示す。

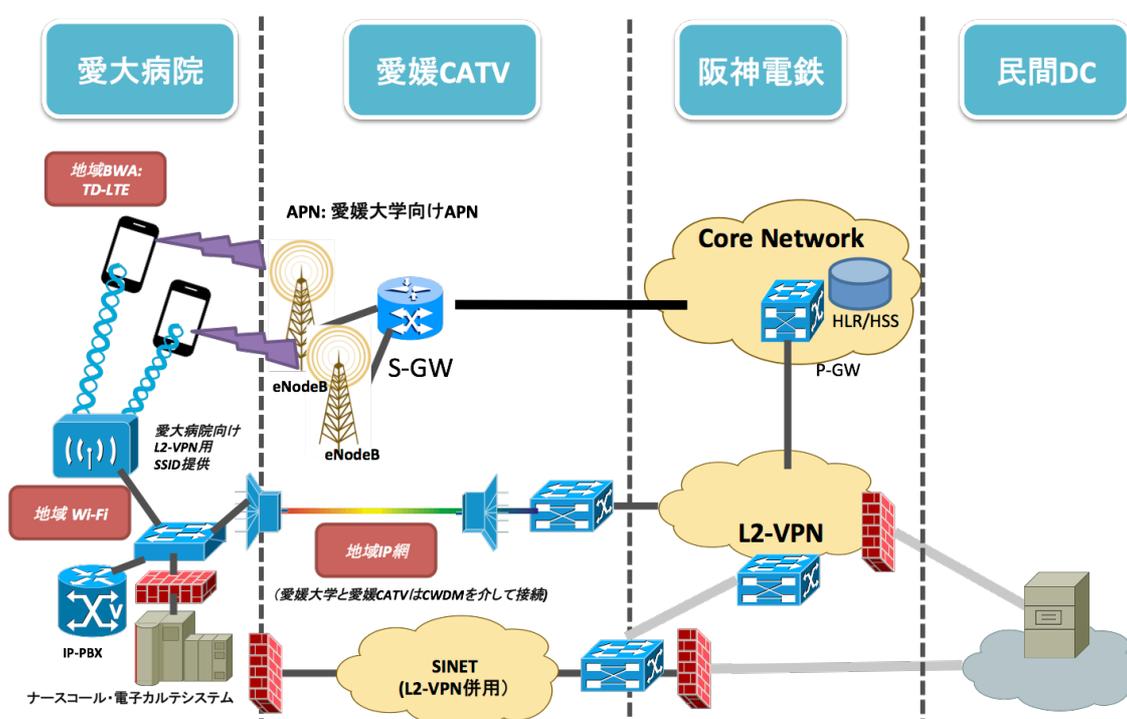


図 19 地域 BWA に関するネットワークの現況

地域 BWA 事業者である愛媛 CATV は、阪神電気鉄道社からコアネットワークの利用権をライセンスし、大阪にあるコアネットワークまで愛媛 CATV の保有する回線を利用して接続している。松山市内の愛媛 CATV のデータセンターから、愛媛県下の各地域に広がる愛媛 CATV のネットワークを利用して eNodeB を設置している。無線部分 (RRH: Remote Radio Head) とベースバンド部 (BBU: Base Band Unit) は軽量であり、回線が引き込めれば、設置に関しての建物に対する制約は殆どなく設置が容易である。



建物屋上に配置された BBU



設置された RRH

図 20 屋上に設置された地域 BWA 関連機材

一方、愛媛 CATV は既に愛媛大学に対して地域網として L1-VPN 及び L2-VPN を提供しており、その回線を利用して Wi-Fi サービスを提供している。これは、愛媛 CATV が愛媛大学構内に無線 LAN アクセスポイントを設置し、無線 LAN の 802.1X 認証を愛媛大学の職員情報を格納している LDAP サーバと連携して実施している。さらに、愛媛大学医学部附属病院は学術ネットワークである SINET を経由してインターネットに接続しているが、この接続も愛媛 CATV の回線を利用している。そして NTT、STNet の回線も愛媛大学医学部附属病院まで来ている。

地域 BWA の端末は、最寄りの eNodeB から S-GW を経由してコアネットワークに入り、その後必要に応じてインターネットや他のネットワークへ出て行く形を取る。従って、愛媛大学構内の地域 BWA 同士の通信であっても、大阪まで行って折り返して通信をする形を取る。そういう意味では、インターネットを介した Skype のような VoIP のように大回りの経路を取らざるをえなくなっている。ただ、通常のインターネット接続よりは経由するルータ等が少ないため、端末同士の RTT は通常のインターネット接続よりも低い範囲に収まっており、今回の実証実験からも実用範囲にあることが確認された。

しかし、同時にこの接続の大回りが安定稼働に対して不利であることは否めない。そのため、安定稼働のための方策として Internet Bonding による接続の冗長化も検討した。

### (3) 他技術との導入・運用に関する比較調査

現在、医療機関に導入可能性がある音声通話システムは、下記に大別される。この他にも、IP-PBX を外部クラウドにホスティングするもの、オンプレミスやクラウドで P2P の VoIP (Skype for Business 等) を提供するものがあるが、あくまでも、医療機関に

における PHS に代わる移動体通信に焦点を当てているので、PHS、スマートフォンや専用機を利用した無線 LAN、キャリア網、地域 BWA の比較とした。

	PHS	無線 LAN	移動体通信事業者	地域 BWA
コスト	○	△	×	○
データ通信	×	◎	×	○
耐障害性	△	×	△	△
機器の種類	×	△	△	△
音質	△	○	◎	○
接続性	○	△	△～○	未検証

表 1 各通信手法の特性

	PHS	無線 LAN	移動体通信事業者	地域 BWA
交換機	専用	IP-PBX	事業者保有	IP-PBX
アクセスポイント	専用、構内工事発生、多数の機器が必要	汎用、構内工事発生、多数が必要	工事不要 一部フェムトセル導入	工事不要、一部フェムトセル導入
端末	専用、低額	汎用、高額 専用、高額	汎用 or 専用、 高額	汎用、高額
スマートフォン	×	○	○	○
互換性	×	○	×	○
総コスト	◎	△	×	△

表 2 必要工事、端末の互換性

交換機については、PHS は PHS のアクセスポイントとの交換機、及び子機の組合せは同一メーカーあるいは限定された組合せに限られるという非互換性があり、結果的にベンダーロックインとなっている。無線 LAN、地域 BWA は IP-PBX を利用するが、通常はクライアントライセンスが必要であり、ライセンス及び保守は PHS の交換機よりも高額

な傾向がある。

アクセスポイントは、PHS はマイクロセルを利用している関係上、多数の設置とそれに伴う工事が必要である。医療機関の規模次第であるが、数百台から千数百台の規模になる。ついで無線 LAN、地域 BWA、携帯網の順にカバーする範囲が広がるが、地域 BWA、携帯網については構内をカバーするためにフェムトセルの導入が必要になる。

端末については、PHS は専用の子機が提供されており、最も低廉である。一方で、他の方法ではスマートフォンの利用が中心である。一部、無線 LAN の専用 VoIP 端末があるが、スマートフォンより高額である。一方、業務アプリケーションとの連携は PHS では限られており、現状の現場からの要求は満たしにくくなっている。

総じて、PHS が導入・維持費用が最も低コストである。無線 LAN については、病院情報システムの構築の時に有線の部分を共用することでコスト削減をはかれるものの、アクセスポイントの数が多いこと、またそれらの多数のアクセスポイントを制御できる無線 LAN のコントローラを導入する必要があること、後述するように耐障害性を高めるためには UPS 等の無停電装置や医療機器用電源を確保する等、施設に関する投資も必要である。なおかつ、耐用年数や機器のサポート期間が PHS 等と比べて短い期間に設定されており、長期間にわたった安定稼働、継続性に関する実績に乏しい。

移動体通信事業者については、交換機、フェムトセル、回線などは移動体通信事業者が保有しており、設備に関する投資は殆どない。しかしながら、SIM の導入・管理及び毎月の音声通話料金、内線・外線の連携・管理費用が発生し、現在入手できている情報の限りでは PHS の数倍のコストが発生している（要根拠）。また、通常は音声通話に関する契約のみであり、データ通信に関する費用は別途発生する。

地域 BWA は接続については移動体通信事業者と同様な条件である。後発であり、またサービスはデータ通信に限定されるため、移動体通信事業者よりは安い価格設定にできる可能性がある。（実際に 2016 年時点ではデータ通信に関しては移動体通信事業者より低価格の設定ができることを確認している。）しかし、移動体通信事業者が管理している交換機や内線・外線の連携等は含まれていないため、後述するように高速データ通信を併用した場合のコストも踏まえて評価する必要がある。

総括すると、音声通話に限定するならば、PHS が第一選択であり、他の選択肢は現実的ではない。たまに、新規に開設、増築した医療機関が設備投資を忌避するために移動体通信事業者との契約をしている事例が散見されるが、ローンチカスタマーとして価格上の優遇を受けている可能性が大であり、通常の検討では PHS の選択以外には考えられない。一方で、PHS は高速通信やスマートフォンで実現可能なアプリケーションのプラットフォームにはなりえない。PHS 以外の選択肢を採ったときのコスト増加が、医療従

事者にとって PHS では実現しえないプラットフォームに対して見いだすプレミアムとのバランスが取れば、PHS からの移行が進むと思われる。しかしながら、2016 年時点 PHS 以外のソリューションを導入している医療機関は 1%にも満たないという報告があった。医療機関の 4 割以上が赤字状態であり、設備投資は非常に厳しい<sup>21</sup>。現状以上の設備投資をするならば、スマートフォンを導入したいと思われるようなキラーアプリケーションの開発が望まれる。

## § 医療機関における地域 BWA 対応スマートフォンの利用について

近年、医療機関への携帯電話への導入が拡大しているが、依然として導入予定がない医療機関の数が過半数を越えていること、それに伴う携帯電話中継システムの導入は 8 割近くが未検討である<sup>22</sup>。新世代の通信規格への移行が遅いのは、別途延べている通り、主に経済的事情によること、2014 年 8 月に「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」の公表により、携帯電話利用の緩和から、まだ間もないこともあることが大きいと考えられる。

高度化方式地域 BWA 以外の通信規格について、総務省にて「電波の医療機器等への影響に関する調査」<sup>23</sup>が実施されている。以下に、各無線アクセス方式の周波数と最大送信電力の組み合わせについて提示する。この表から地域 BWA に関しては、周波数が高いため到達距離が短く、最大送信電力に関して第 3 世代から第 4 世代の無線アクセス方式等と同等である。屋外の基地局で運用する分については、第 4 世代の携帯電話に準じたガイドライン遵守のもと運用し、医用機器への携帯電話による影響が懸念されるところでは、高度化方式の地域 BWA に対応した屋内用基地局装置や屋内アンテナを設置することにより、構内の携帯電話端末の送信電力を制限することで影響を低減する等の配慮が必要と思われる。この認識で大きな問題はないと思われるが、高度化方式の地域 BWA に関しても、医療機器への影響に関する調査が望まれる。

<sup>21</sup> 全国公私病院連盟・日本病院会 平成 28 年病院運営実態分析調査の概要 平成 29 年 3 月  
[https://www.hospital.or.jp/pdf/06\\_20170306\\_01.pdf](https://www.hospital.or.jp/pdf/06_20170306_01.pdf)

<sup>22</sup> 電波環境協議会 医療機関において安心・安全に電波を利用するための手引き 平成 28 年 4 月

<sup>23</sup> 総務省 「電波の医療機器等への影響に関する調査」報告書 平成 26 年 3 月  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000291919.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000291919.pdf)

無線アクセス方式	無線周波数	公称最大送信電力 (端末)
PHS	1.9GHz 帯	80mW
第3世代(W-CDMA)	800MHz 帯/900MHz 帯/1.5GHz 帯 /1.7GHz 帯/2GHz 帯	250mW
第3世代(CDMA2000)	800MHz 帯/2GHz 帯	250mW
第3.9世代(LTE) 第4世代(LTE-Advanced)	800MHz 帯/900MHz 帯/1.5GHz 帯 /1.7GHz 帯/2GHz 帯	200mW
高度化方式 地域 BWA	2575MHz-2595MHz	250mV

表3 携帯電話の種類と最大送信電力

(「医療機第3世代から第4世代関において安心・安全に電波を利用するための手引き」掲載の表に加筆した)

## § フル MVNO 時代に向けた地域 BWA への提言

総務省の調べ<sup>24</sup>によると移動系通信契約数、MVNO(仮想移動体通信事業者)において、地域 BWA の存在感は増している。BWA の契約数は 2011 年から 2016 年にかけて、50 倍に増加し、今後も増加しつづけている。3G、PHS は減少しており、その分が LTE および地域 BWA の増加に向かっていることが窺える。

<sup>24</sup> 電子通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表

[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban04\\_02000121.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000121.html)

### MVNOサービスの契約数の推移

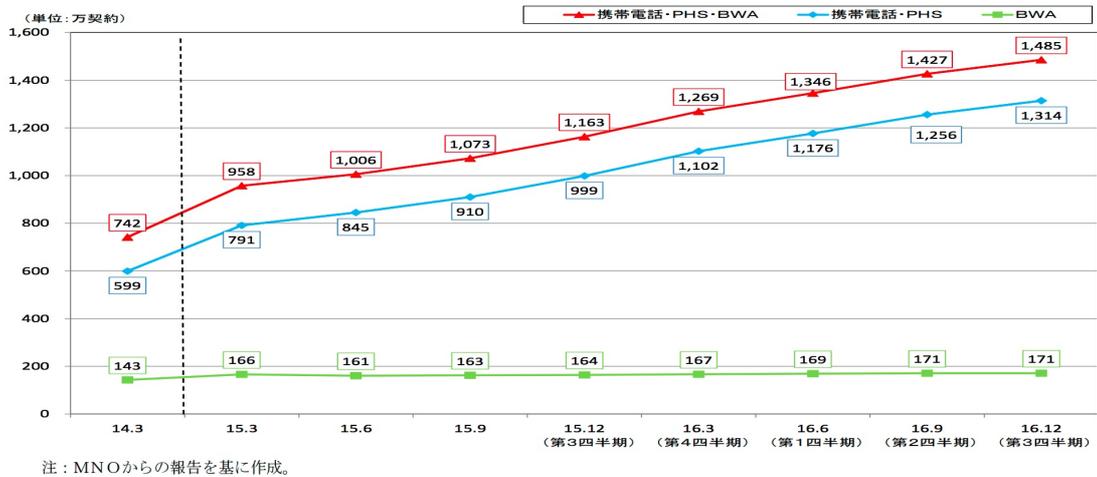


図 21 3G・LTE・PHS・BWA の各契約数の推移（資料 1（脚注）より）

### 3G・LTE・PHS・BWAの各契約数の推移

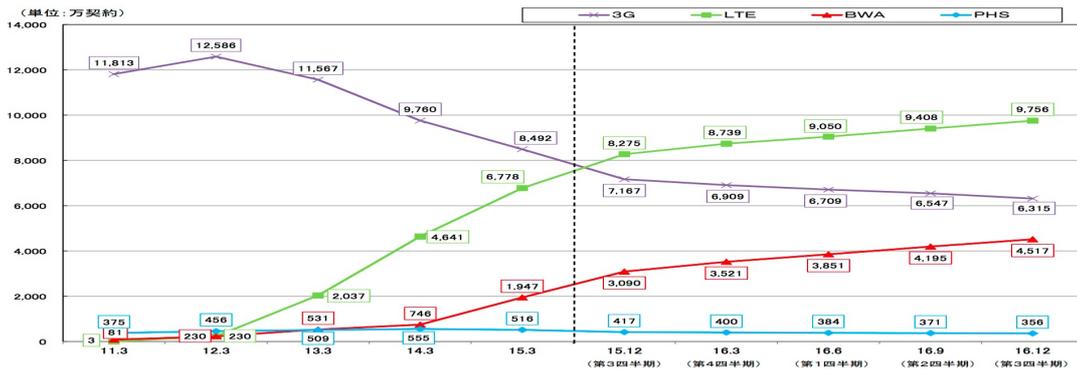


図 22 MVNO サービスの契約数の推移（資料 1（脚注）より）

一方、MVNO サービスの契約数も以前より高い上昇傾向を示しており、携帯電話大手 3 社の LTE 純増よりも大きい伸びを示しており、大手 3 社につぐ市場を形成している状況が窺える。総務省は 2014 年に「モバイル創世プラン」において、モバイルの利用環境を拡大するためのビジョンを発表しており、その中で、MVNO の普及促進をあげている。その時の目標は 2016 年中に 1500 万契約の達成が設定されているが、2016 年 12 月時点で 1485 万件に達しており、目標はほぼ達成されたと言えよう。

しかしながら、MVNO の全体的な増加にあって、BWA における MVNO の増加は低調である。これに関する解釈としては、BWA 事業者は従来の MNO の基地局を利用せず、独自に基地局を設置しており、MVNO を運用していないことが主な理由であると考えられる。

元々、MVNOの目的の1つに国民負担の軽減があり、その目的に呼応するかたちで格安SIM、スマホが出現している。そして大手携帯電話事業者が、本丸のブランドを安売りせず、収益を確保するためにサブブランドを提供する等、迎撃態勢に入り、低価格競争は、これから撤退する事業者も増加するほどの過当な時代に突入すると思われる。その中であって、地域BWA事業者はコスト面だけでは立ち向かうことが困難であり、元々のニッチ市場における経営戦略の先鋭化と、その特異な事業形態を持続可能な技術的、コスト削減の支援がますます必要になると思われる。

堀越功氏の記事では、今後のMVNOのありかたとして4つのキーワードを提示している<sup>25</sup>。これらのキーワードは、地域BWAにおいても考慮すべき方向性であると考えたので、以下、各キーワードに沿って地域BWAのあり方への提言を行う。なお、個別のキーワードについては同氏の記事にて詳細に解説されているので、そちらを参照されたい。

#### (1) フルMVNOへの移行による国内ローミングの実現

現状のMVNOはデータ通信に特化した「格安SIM」がでており、スマートフォンの方もデュアルSIMに対応している。しかし、前述の実験で確認した様に、デュアルSIMといっても、LTEとBWAでは同時のデータ通信が不可能であり手動での切り替えが発生する。また現時点でスマートフォンの問題かどうか不明であるが、Wi-Fiとの協働がうまくいかないことも確認されている。また、ユーザが手動で通信を切り替える手間があること、またデュアルSIM端末自体の種類に限りがあることもユーザにとっての選択肢を少なくしている。可能であれば、1枚のSIMでLTEと地域BWAの間を自由にローミング可能な環境を実現したい。

現状のMVNOのSIMはMNOから貸与されたSIMであり、このSIMに書き込まれた識別番号も発行元であるMNOに依存したものとなっている。従って現状でローミングする時は必然的にMNOの設備を経由した通信となる。地域BWAの通信を主として、MNOの通信を従とするサービスは困難である。フルMVNO事業者は、自前で加入者データベースであるHSSを導入し、地域BWAやMNOのネットワークに接続する。すなわち、地域BWA事業者はフルMVNO事業者に対してMNOと同じ立ち位置で提供する。このような接続が実現すれば、フルMVNO事業者は、地方のユーザに対しては、居住地域では地域BWAによる広帯域、パケットの使用量の制限が緩いサービスを提供し、それ以外の地域では低帯域のLTEでの接続を提供するという、ユーザにとっては低コストでより満足度の高いサービスを楽しむことができ、地域BWA事業者にとっては全国のカバーが自力では困難であること

<sup>25</sup> 堀越 功、「特集 ついにフルMVNO 「脱・格安」へ進化のシナリオ」 日経コミュニケーション 2016/11月号

の課題を他の地域 BWA 事業者と MVNO 事業者とスクラムを組むことで相乗的に解決することが可能となる。

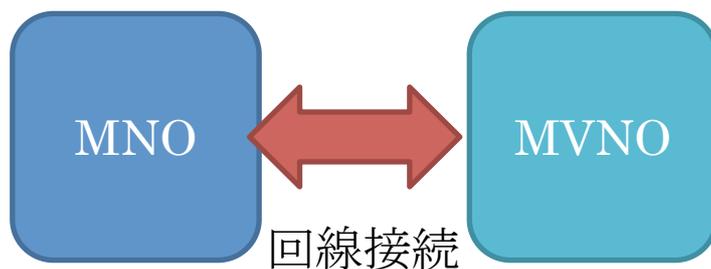
## (2) ゼロレーティング

ゼロレーティングとは、特定アプリケーションのトラフィックを非課金とする価格設定であり、特定アプリケーションの利用を推進したい企業(例:LINE モバイルや FREETEL SIM) や MVNO で使われる手法である。

ゼロレーティングには、暗号化された通信も含めてパケットレベルで通信内容を判断する DPI (Deep Packet Inspection) 装置の導入が必要であり、全国規模の顧客を抱える MNO にとっては投資が難しい部分である。一方地域 BWA では地域のコンテンツや業務用途に特化して、固定料金を設定するのも利用可能である。SIM 個別の課金ではなく、ユーザごとの課金として精算することで、地域一帯に IoT 機器や情報端末を配置し、事前にパケット量の需要の見積ができるようなアプリケーションには応用可能であり、また一時的なパケット量の増加に対しても総量規制ベースによる調整や価格設定が可能である。すなわち、地域特性のあるアプリケーションのニーズに対してきめ細やかな対応が可能となる。

## (3) 地域 BWA の MVNE

MVNE (Mobile Virtual Network Operator) は、従来の MNO から回線を借り受けて運用していた MVNO との間に入り、MVNO に代わってインフラ周りや運用の部分を担当し、MVNO はサービス運用に特化していく構造を取る。(図 23)



### 従来の MVNO の立ち位置



### MVNE 参入後の MVNO の立ち位置

図 23 MVNE、MVNO の関係

これは MVNO の設備投資が巨額であること、かつ MVNO のネットワーク運用ノウハウがなくてもサービスを提供したい業者の思惑が重なって、MNO、MVNE、MVNO の 3 種類の事業者という形での再編成が進んでいる。

このモデルでは、地域 BWA の基地局を有する事業者は MNO の位置にもなりうる。すなわち、地域 BWA の基地局から MVNE へのコアネットワークまで接続すれば、大手携帯会社と同じ立ち位置でのローミングの提供や、地域に密着した MVNO の全国展開との連携も可能になる。

つまり、地域 BWA といっても、ハードウェアである基地局からソフトウェアである HSS/HLR までを全て揃える必要はない。地域の BWA 基地局の設備と、その地域限定のサービス (MVNO) を地方事業者が受け持ち、各々の地方に提供するサービスを展開したい事業者は、地域 BWA が接続されている MVNE に MVNO として参入することができる。MVNE と MVNO に地域 BWA が連携していくことで実現可能になると思われる 例を 2 点挙げてみる。

#### (1) 防災情報伝達システム

防災情報伝達システムで IP 電話や会議システムを構築するとする。IP 電話や会議システムのノウハウを持つ企業が、通信機器（地域 BWA の SIM 対応のモバイルルータ等）に事前に SIM を組み込んだ状態で出荷する。この SIM は防災などの有事や特定業務に利用された時のみ、パケットのメータリングが行われるので、月々の回線費用について心配する必要はない。

これは地域 BWA の MVNE に接続できる MVNO として、防災情報伝達システムを提供する会社が参画し、ゼロレーティングの仕組みを応用することで実現することができる。つまり、顧客にとっては（1）事前にネットワークを設計する必要がなく、ターンキーソリューション的に利用できる。（2）ネットワークの維持費用が掛からないので、端末を設置する拠点を増やすことができる、といったメリットにつながる。

## （2）医療機器メンテナンスサービス

## 地域BWA網を利用した高度な医療IoT情報基盤の構築

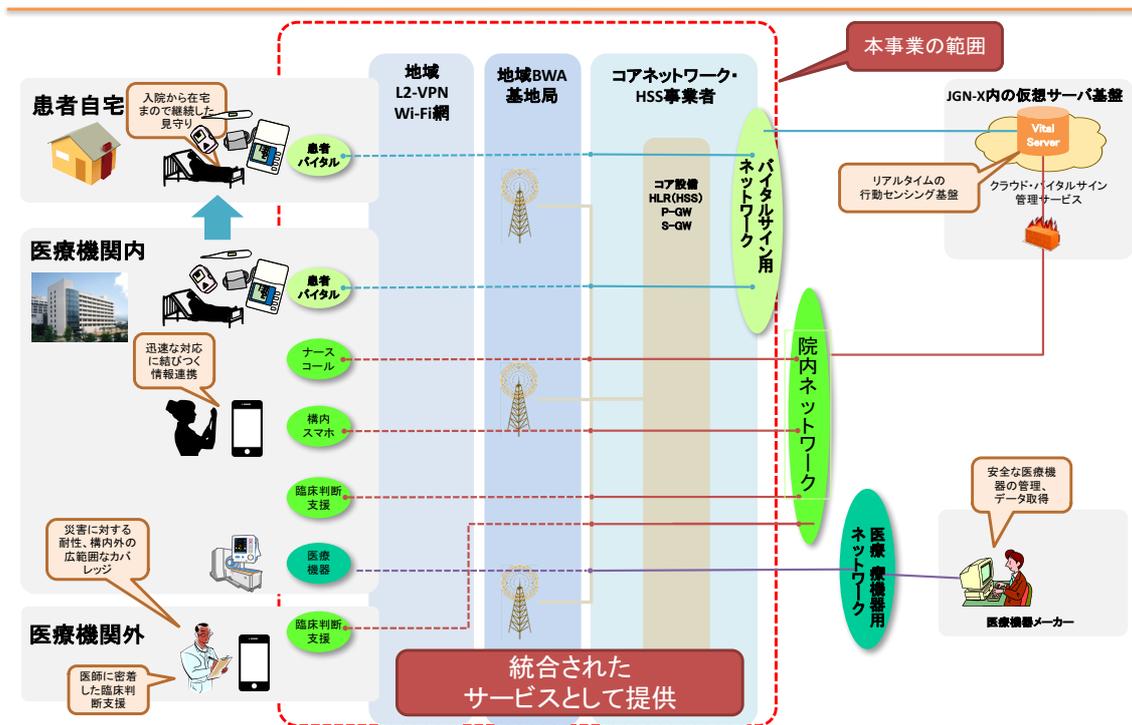


図 24 地域 BWA 網を利用した高度な医療 IoT 情報基盤の構築

医療機器は精密な機械であり部品の個数も非常に多い。また、コンピュータの導入も積極的に行われている。そのため故障や消耗品の交換時期の予兆、システム更新のためにリモートで実施し、早期の故障予見、介入をはかることが多い。医療分野では安全な接続のために主に厚生労働省が定めた「医療情報システムの安全管理に関するガイドライン」に則って IPSec ベースの VPN がよく利用される。しかし、VPN 接続は、通常院内ネットワーク内部に入る必要がある。なぜならば、今日の医療機器は単独であることはまずなく、例えば、CT や MRI の医療機器であれば、PACS (Picture Archive and Communication System: 医用画像管理システム) や、必要に応じて RIS (Radiology Information Systems: 放射線科情報システム)、電子カルテシステムとネットワークを介して接続する。各々の病院のネットワークレイアウトに配慮し、必要に応じてファイアウォールや VPN ルータの調整が必要になりインテグレーションのコストがかかる。かつ、セキュリティリスクもある。医療機器をサポートするセンターに不正侵入があり、そこから病院ネットワークに入ってリモートメンテナンスする仕組みが悪用された事例も報告されている。

また、医療機器は我が国が得意とする産業分野であり、国際的にも展開していきたい。そのためには、リモートメンテナンスや情報収集の仕組みも国際的に共通化していき、

出荷時の調整や現地でのインテグレーションのコストを引き下げ、速やかに展開する方策が必要である。

これについては eSIM とフル MVNO の組み合わせによって実現できると考える(図 24 下部)。すなわち、医療機器内部に通信モジュールを組み込み、そのモジュールに eSIM(Embedded SIM)を組み込む。eSIM は事前に出荷先の地域の MNO に対応したプロファイル群を組み込めば、出荷先にて、Subscription Manager を利用して適切なプロファイルを選択出来る。すなわち、出荷時点で世界各国の通信事業者にあわせて接続ができ、かつ国際ローミングとコアネットワークへの L2VPN を接続しておくことで、医療機器のメンテナンスに求められる、「専用線」と同等のサービスを手に入れる。

かつ、我が国においては、都心部と地方部で異なる形での恩恵を受けられる。先述した通り、地域 BWA もフル MVNO の枠組にのることで、医療機器のサポート回線としての特恵的契約を提供しつつ、地域 BWA 網の障害時には大手携帯事業者の回線にローミングすることで冗長な回線を構成することができる。地域においては携帯事業者が採算上介入しにくいところでも、地方自治体のインフラ整備を兼ねて医療機関にも帯域を提供する等の相乗りが可能になる。

以下、筆者の守備範囲の医療分野において、フル MVNO が実現した際に期待されるアプリケーションについて紹介する。

#### (1)フル MVNO と地域 BWA の連携

フル MVNO と地域 BWA が連携したりファレンスモデルを以下に提示する(図 25)。事業者が地域 BWA 事業者とユーザに HLR/HSS 及びゲートウェイを提供するサービスを展開している。全国規模 MNO では対応できないような、ユーザ毎の閉域網、認証、位置情報の提供によって、地域に密着したアプリケーションの開発を可能にし、また山間部や沿岸部等の有線インフラが薄い地域においてもネットワークを駆使した業務システムの構築が可能になることによって、中小事業者の設備投資の負担軽減や迅速なエリア展開を可能にするものである。また、発展途上国においては有線よりも無線インフラ・携帯電話の展開が先行して行われており、これらの無線インフラを事業の軸においたビジネスモデルは、他地域・他国での通信事業、それに伴う IT 関連企業およびそのシステムを基盤とする産業に、速やかに展開可能であることが期待される。

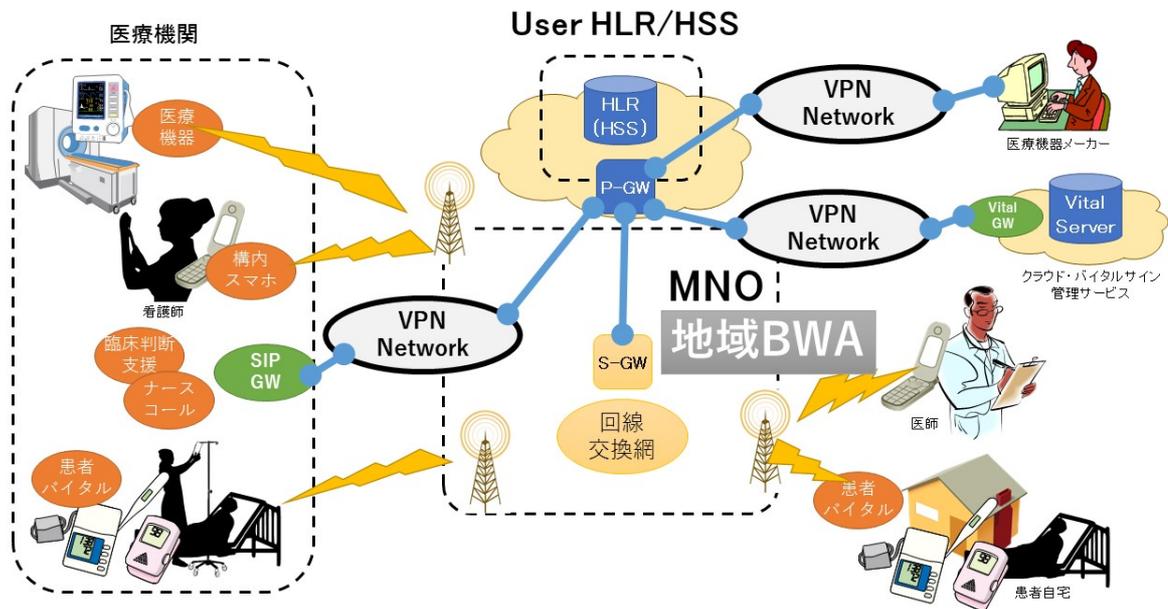


図 25 リファレンスモデル（全体像）

(2) リファレンスモデルで可能になる事業

本モデルによって、地域 BWA を保有する移動体通信事業者は、以下のサービス品目を立ち上げることができる。

(I) 移動体通信上でのプライベートネットワーク構築と、携帯端末の貸与

既存の構内 PHS との親和性を保ちつつ、段階的に移行することができるように、地域 BWA を展開する。利用者の敷地近辺に基地局を数カ所配置し、これまでの構内 PHS と同等以上の通信環境を提供する。地域 BWA に対応した SIM フリー Android 携帯端末の提供と SIM カードの発行を行い、各端末にプライベート IP アドレスを割り振った上で、利用者に供する。基地局設置に先立ち、顧客の敷地や構内を調査するコンサルティングサービスを実施する。

(II) 移動体通信網と指定ネットワーク間の IP-VPN 網の提供

P-GW から顧客のプライベートネットワークに接続するために、地域 IP 網あるいはダークファイバによる有線での経路接続を行う（移動体通信網と顧客のネットワーク間を接続する）。

以下に、当院が地域 BWA の事業者、阪神ケーブルエンジニアリングと組んで地域 BWA

を利用した医療ネットワーク構築にむけて検討した内容を紹介する。

地域 BWA の回線交換網は愛媛 CATV と阪神ケーブルエンジニアリング株式会社のコアネットワークを利用し、地域 BWA から顧客までの L2 回線は、愛媛 CATV と愛媛大学医学部間で既に構築済みのダークファイバを用いた回線に VLAN を追加して実現する。また、プライベートネットワークは JGN-X にも延伸し、クラウドのデータセンターに見立てた JGN-X 内の仮想サーバ基盤へ接続する。

愛媛 CATV は地域 BWA 事業者として、愛大病院の敷地、近隣施設を調査し、構内への電波到達性を考慮して基地局を新規に設置する。阪神電気鉄道が提供するコアネットワークに接続し、HLR/HSS と連携する。愛大病院向けの地域 BWA ベースの閉域網を提供するために、愛大病院専用の APN を定義する。

阪神ケーブルエンジニアリングは、コアネットワーク、HLR/HSS の機能、そして閉域網構築のために P-GW からの L2-VPN 接続を提供する。更に、愛媛 CATV は愛媛大学と愛媛 CATV 間のダークファイバと、阪神ケーブルエンジニアリングからの L2-VPN を中継し、P-GW から愛大病院のプライベートネットワークへの経路を構築する。このダークファイバは既設であり、かつ対向の CWDM によって論理多重化されている。この回線に、本事業のために二つの論理的ネットワークを追加する。すなわち、(1) 地域 BWA に接続されたスマートフォンに始まり、阪神ケーブルエンジニアリングのコアネットワーク、L2-VPN、愛媛 CATV から愛大病院の地域 IP 網を経由して終端する閉域網、(2) 愛大病院構内に設置した地域 Wi-Fi 用の AP を、先述の閉域網に接続するための VLAN の 2 つがある。

さらにプライベートクラウドのサービスを想定し、愛媛 CATV の地域 IP 網から JGN-X へ L2 接続を延伸する。この経路は既に確保済みである。

愛大病院構内に展開するスマートフォンに TD-LTE の設定情報として地域 BWA の APN と認証情報をセットし、無線 LAN のアクセスポイントに地域 Wi-Fi にアクセスするための SSID を設定する。さらに、ナースコールシステムが SIP 連携するための SIP ゲートウェイ、IP-PBX および電子カルテシステムの情報を取り寄せる API サーバを構築する。

本システムにおけるトラフィックパターンを例示する。ナースコールからの発呼があった時、愛大病院構内のナースコールシステムから IP-PBX に SIP プロトコルによる接続要求が発生する。IP-PBX は当該スマートフォンに対して発呼するが、このパケットは愛大病院構内ネットワークから地域 IP 網、L2-VPN を経由して阪神ケーブルエンジニアリングの S/P-GW に入り、コアネットワークを経由して基地局に接続しているスマートフォンに到達する。以後の通信はこの経路を往復して行われる。

(a) 構内 PHS に代わる次世代コミュニケーション基盤

構内に SIP に対応した電話交換機を設置し、ナースコールとの連携を設定する。また地域 BWA 事業者より Android 携帯端末を預かり受け、VoIP over TD-LTE のアプリケーションを組み込む (図 26)。

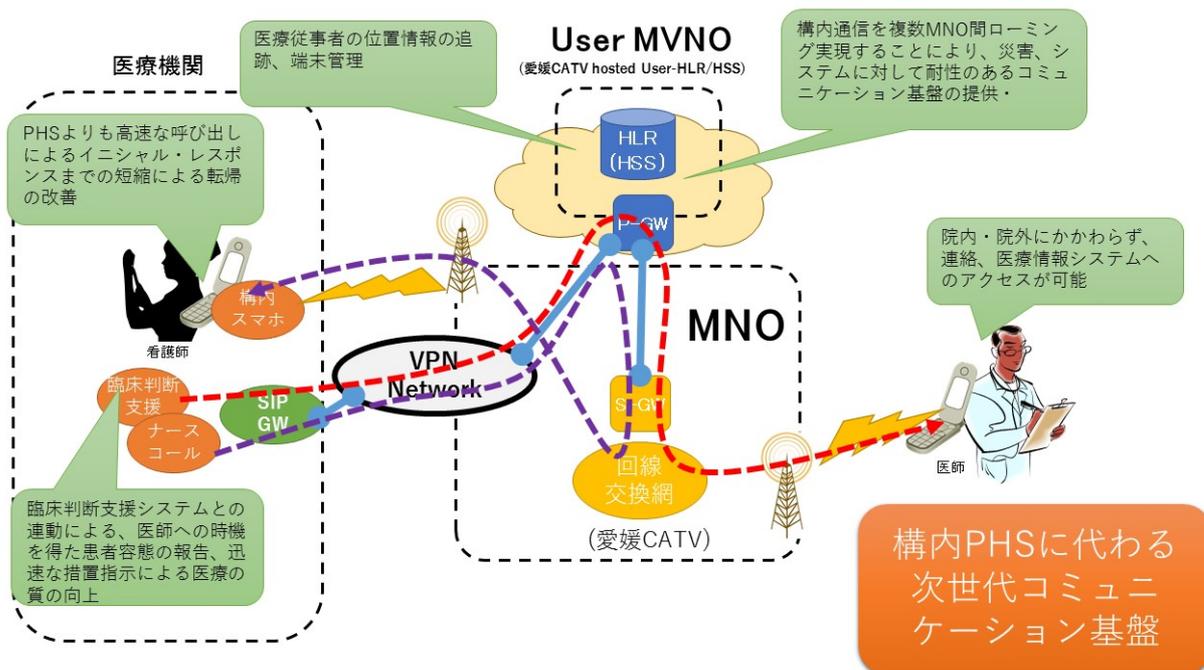


図 26 構内 PHS に代わる次世代コミュニケーション基盤の完成像

(b) セキュアな IoT デバイスの管理を実現する閉域網の提供

医療機器に LTE モジュールが直接組み込まれてメーカーと直接通信ができるサービスを最終目標として設定する。技術的妥当性を検証するために、現状の医療機器を改造しないように、LTE 内蔵の VPN ルータを医療機器に直結する。(現在、医療機器の改造は薬事法にて禁止されているため。) もちろん、先述した通り、国際市場への出荷と eSIM の機構を搭載した医療機器など、当初から設計に組み込まれているものについては問題ないであろう。

顧客に指定された医療機器に LTE を内蔵したルータを直結し、医療機器メーカーのネットワークに VPN 接続するための VPN ゲートウェイまでの経路設定を行う。

検証は、愛大病院に医療機器を配置している医療機器メーカーと協力し、これまでの院内ネットワーク経由のリモート保守・監視機構から、本機構に切り替えて運用を評価する (図 27)。

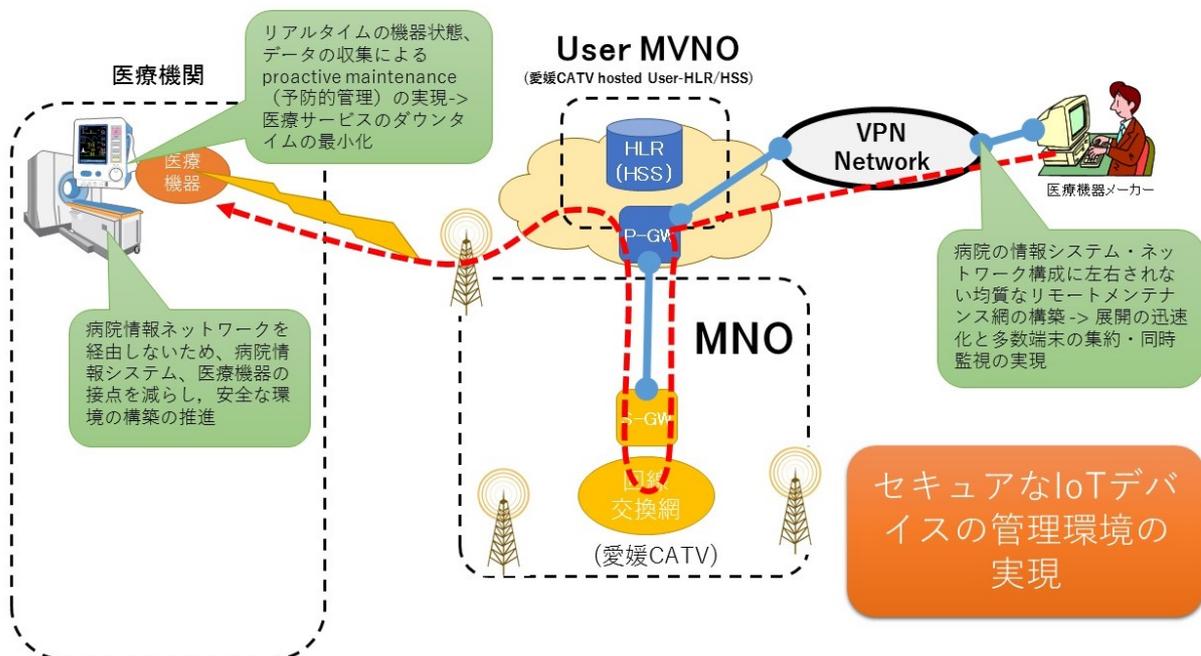


図 27 セキュアな IoT デバイスの管理を実現する地域 BWA の取り組み

(c) リアルタイムの位置情報の収集

前段の (a) (b) で構築した環境を前提として、リアルタイムの位置情報収集サービスの検証を行う。ユーザに配布する Android 携帯端末に時刻、LTE 接続に関する情報、GPS 位置情報、捕捉した Wi-Fi の SSID、MAC アドレス、Bluetooth のビーコン、加速度・重力等の各センサー 等々の情報を定期的に取り込むアプリケーションをバックグラウンドで稼働させ、定期的なサーバに送出する。サーバは、JGN-X 内の仮想環境に設置し、S-GW から JGN-X への経路を経て携帯端末から位置情報を受信する。また、本実証実化中に可能であれば、HLR/HSS 及び基地局に関する情報を MNO から受け取り、同サーバ上で、SIM 情報をもちいて位置情報を突合する。サーバ内に蓄積された位置情報を Pull ベースで取り寄せる API を実装し、医療機関から医師、看護師、患者、医療機器等の位置情報を随時照会できることを確認する。

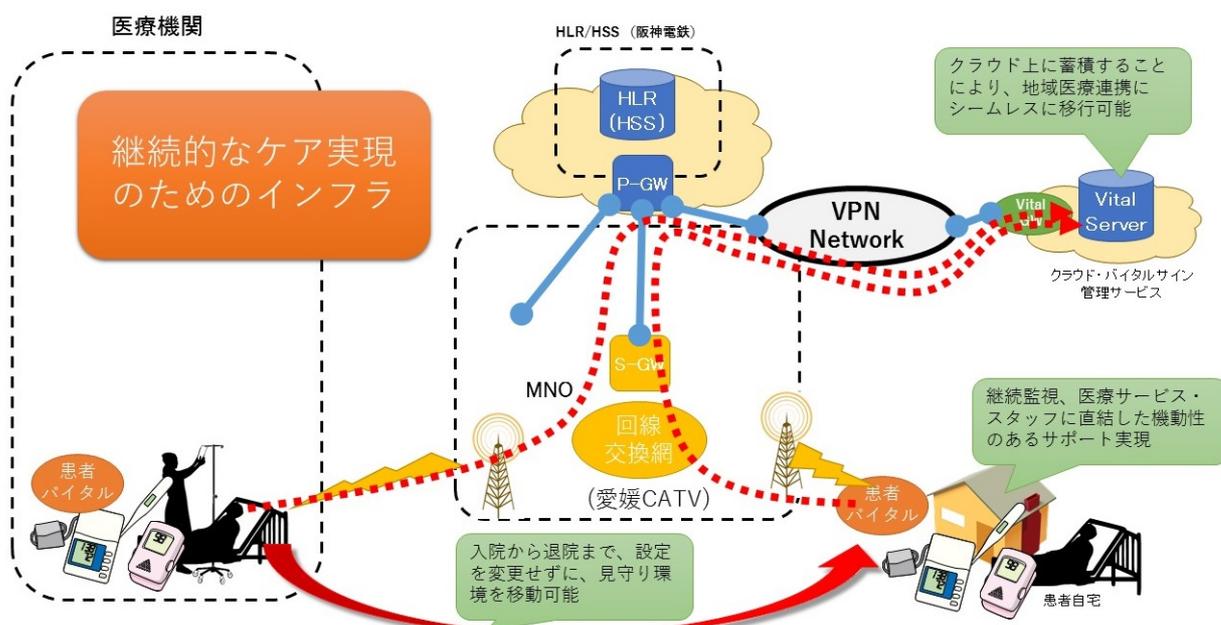


図 28 入院から退院後の在宅療養までのシームレスな見守りを実現するシステム像

#### (d) 入院から退院後の在宅療養までの継続した見守り

医療機関内で測定された体温、血糖値などが電子カルテに自動伝送するバイタルサイン採取システムが試験的に導入されている。この機器を無線 LAN から TD-LTE 経由での接続に切り替えることで、従来通りの構内での通信に加え、患者が帰宅後も自宅での機器の設定の必要なく継続してバイタルサインを採取することが可能になる。病院の電子カルテシステム上で、模擬患者において入院中、帰宅後療養のシーンを再現し、継続してデータを採取できることを確認する。

#### § 地域 BWA の今後への期待と提言

地域 BWA の周波数帯は 3GPP Band41 のバンドを使用している。国際的にみればアジア、アフリカ、北米などを中心に普及しており、存在感を出している<sup>26</sup>。アジア、特に高性能スマホを輩出している中国が大きな市場を有しており、日本では技術基準適合証明（技適）をまだ受けていない SIM フリー携帯端末や通信モジュールが多数でている。我が国に輸入されるときには、大手の携帯電話事業者の周波数帯に限定して技適を受けて

<sup>26</sup> TD-LTE Global Market <http://www.gtigroup.org/Resources/lgmd/2014-07-21/4003.html>

いるケースが多い。我が国で使われている周波数帯に関して一括で技適を受けるようにしていただければ、地域 BWA のユーザにとっての選択肢も広がるだろう。

そして、フル MVNO、MVNE との棲み分けの動向に地域 BWA 事業者がスムーズに追従することができれば、MNO に伍するサービスとコストパフォーマンスを提供可能になり、また世界市場へのスムーズな展開も可能になると思われる。

電波政策 2020 懇談会報告書<sup>27</sup>において、カバレッジが依然として低く、その利用が大幅に進んでいないとし、提言として制度趣旨や有用性の認知度を向上させるように地域におけるサービスを提供する企業や地方自治体に対して一層の周知・広報を行い、活用事例の横展開を図ることとしている。しかし、地方の企業や地方自治体の経済力を鑑みれば、成長に限界がある。より大きな市場の枠組の中で、全国的な携帯事業の発展に寄与しうる構図の中で、地域展開のためのコストを低減し、多様なサービスを迅速に展開できる仕組み作りが必要であると考え。そのために、以下の施策を提案したい。

フル MVNO/MVNE への移行を推進し、地域 BWA に限らない携帯網の自由化の促進のテコ入れを行うこと。地域 BWA を使ってサービスを展開したい事業者が MNO のようにフル MVNO に対して基地局及びネットワークの使用を提供する事業形態を実現すること。そして地方にアプリケーションレベルのサービスを展開するインテグレータが MVNE の立場で入れるように、従来の地域 BWA に関する啓蒙活動の延長上に MVNE の構想を紹介していくこと、である。

## 謝辞

本研究にあたり、阪神ケーブルエンジニアリング株式会社及び株式会社愛媛 CATV には地域 BWA の設備の見学および、技術的助言において多大な助言を頂いた。愛媛大学医学部附属病院の医療従事者の 60 余名の皆様方には地域 BWA を想定したスマホを利用した IP 電話のアンケートについてご協力を頂いた。ナースコール、VoIP については、株式会社ケアコム、日本電気株式会社にご協力を頂いた。この紙面をもってお礼を厚く申し上げます。

---

<sup>27</sup> 総務省 電波政策 2020 懇談会 報告書 [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000430220.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000430220.pdf) 平成 28 年 7 月

付帶資料

構内携帯に関する調査票

回答者名 \_\_\_\_\_ 病棟 \_\_\_\_\_ 日付 \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

回答者職種 医師 看護師 事務 学生 その他 ( \_\_\_\_\_ )

アンケート結果希望 有 無

1	2	3	4	5
非常に 悪い	悪い	普通	良い	非常に 良い

Q1 現在の PHS の音質（聞えやすさ）についてはいかがでしょうか？

Q2 現在の PHS の電波（つながりやすさ）についてはいかがでしょうか？

Q3 つながりにくい所があれば、具体的な場所をご教示ください

Q4 スマートフォンの音質（聞えやすさ）はいかがでしょうか？

Q5 スマートフォンの音質は PHS に比べてよいでしょうか？

Q6 その他 意見があれば自由にご回答ください。