

Title	家庭内ネットワークにおけるネットワーク仮想化技術に関する研究
Author(s)	石黒, 裕貴
Citation	
Issue Date	2016-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/13636
Rights	
Description	Supervisor: 丹 康雄, 情報科学研究科, 修士

修士論文

家庭内ネットワークにおけるネットワーク仮想化
技術に関する研究

1410006

石黒 裕貴

主指導教員 丹 康雄 教授
審査委員主査 丹 康雄 教授
審査委員 篠田 陽一 教授
審査委員 リム 勇仁 准教授

北陸先端科学技術大学院大学

情報科学研究科

平成 28 年 2 月

概要

近年，ネットワーク家電や Wi-Fi 接続のタブレットなどが一般家庭に普及し始めている．これに伴い家庭内のネットワーク機器が増加し，家庭内のネットワークに一般ユーザが自由に機器を追加するような状況となっている．家庭内ネットワークに接続される機器の数や種類が増加するにつれ，単純に一つのブロードキャストドメインとして接続するだけでは実現の難しい要求が出るようになってきた．例えば，HEMS においては，コントローラとエネルギー関連機器が家庭内の他のネットワーク機器とは直接 IP 接続できない独立したサブネットで接続されることがシステム構成上求められることが多い．更に，複雑化するホームネットワークを遠隔管理するために開発された HTIP においては基本情報を Ethernet フレームの上で定義された LLDP を用いて収集するが，近年増えつつある Ethernet フレームを用いない 6LoWPAN プロトコルで接続された機器群で同様の機能を実現するためには IP 上で Ethernet フレームを送信するしくみが必要となる．そこで，本研究ではこれら要求を実現する，ホームネットワークに望まれる性質を備えた仮想化技術の導入を行う．

仮想化技術には，実現方法や動作レイヤの違いにより様々な技術が存在する．そこで，仮想化技術について調査し，前に述べた要求を実現可能な仮想化技術である，タグ VLAN，GRE，VXLAN，GENEVE について，家庭内ネットワークへの導入を想定し比較を行った．この結果，導入コスト，普及率といった理由から，GRE，または GRE とタグ VLAN を組み合わせた形の導入が現段階で最も妥当であるとした．また，家庭内ネットワーク仮想化設計にあたり，ホームネットワークにおいて想定される接続構成例を作成した．この接続構成例について，HTIP 実装機器と HEMS 関連機器，また，見える化の使用等のため一般のユーザにより追加された機器を対象とし，その他の機器についてはスコープ外としている．作成した接続構成例に対し，GRE，及び GRE&TagVLAN の導入を行う際，ホームネットワーク内に存在する各機器に必要な設定を検討した．家庭内に接続された情報家電などのネットワーク機器を遠隔から管理制御する際の要件明確化のため，機器の設置，機器の移動，サービス起動，トラブルシューティングといったパターンにおいて使用例としてのユースケースが作成されている．このユースケースに対し，検討を行い，更新したユースケースを新たに作成した．作成したユースケースは 31 ケース存在し，これらの内，仮想化技術導入に対する対応評価に用いるユースケースの選定を行った．選定方針として，各カテゴリ内でより多様なアクターが使用され，かつより処理の網羅性が高いケースを選択し，13 ケースを選定した．

ホームネットワークの接続構成を特定するプロトコル HTIP を定義した JJ-300.00 において，カプセル化プロトコルとして GRE を使用する場合の処理例が定義されている．これら処理例は，仮想化設計にて作成したホームネットワーク接続構成例に含まれる処理であり，今回，この処理例に沿う形で GRE，GRE&TagVLAN の実装を行った．今回非 Ethernet データリンク層として SLIP を使用した．HTIP 実装機器は，Manager が実装さ

れた機器と、エンド端末が存在し、これら機器間で HTIP の動作による機器情報の収集を行う。ここで、Manager bridge とエンド端末 bridge を用意した。これら bridge 機器は、各 HTIP 実装機器にて HTIP が送信するパケットを、特定のインターフェースへブリッジ転送する機能を持ち、各 HTIP 実装機器はこれら bridge 機器と合わせて 1 台の HTIP 実装機器とする様な形で実装した。パケットキャプチャの結果、GRE、GRE&TagVLAN の導入により、非 Ethernet の環境においても HTIP 実装機器間による LLDP フレームの送受信が可能であることを確認した。

仮想化技術導入を行う際、ホームネットワーク内に存在する各機器が必要となる機能対応を示した。また、作成した接続構成例毎に、各機器に増加するインターフェースを考察し、各仮想化技術導入における設定の容易性を評価した。さらに、TR-1043 において、ECHONET Lite に利用される規格がまとめられており、これら規格毎に、GRE カプセル化を使用した際の HTIP 実装機器 1 台における、LLDP パケットの送受信による帯域消費率を示した。選定したユースケースに対し、GRE、GRE&TagVLAN の導入を行った際の対応評価を行った。CE 機器の起動で始まるユースケースでは、LLDP のブロードキャストにより IP アドレス等の通知を行うが、非 Ethernet のプロトコルを経由する場合この処理が行えない。起動時にコンフィグレータと CE 機器間で GRE の設定を行う必要があり、LLDP フレームの送受信以外の方法で互いの IP アドレス等を通知する機能が必要であることがわかった。また、実装結果から、仮想化技術導入により、Ethernet フレームを用いないプロトコルで接続された機器間においても、LLDP フレームの送受信が可能となり、機器情報、及び接続構成情報の収集が可能となることがわかった。ホームネットワークにおいてもエンタープライズネットワークで用いられているようなネットワーク仮想化の技術を導入することで、求められた要求をネットワーク接続機器や配線を増加させずにローコストで実現することが可能である。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	1
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連技術	3
2.1	LLDP (Link Layer Discovery Protocol)	3
2.2	UPnP(Universal Plug and Play)	4
2.3	ITU-T G.9973(HTIP)	5
2.3.1	L2 Agent	5
2.3.2	L3 Agent	7
2.4	GRE(Generic Routing Encapsulation)	8
2.5	タグ VLAN	8
2.6	VXLAN(Virtual eXtensible Local Area Network)	8
2.7	GENEVE(Generic Network Virtualization Encapsulation)	9
第3章	家庭内ネットワーク仮想化設計	10
3.1	仮想化技術選択	10
3.2	機器の定義	12
3.3	ホームネットワーク接続構成例 1	12
3.3.1	ホームネットワーク接続構成例 1-GRE 導入	13
3.3.2	ホームネットワーク接続構成例 1-GRE&TagVLAN 導入	14
3.4	ホームネットワーク接続構成例 2	16
3.4.1	ホームネットワーク接続構成例 2-GRE 導入	16
3.4.2	ホームネットワーク接続構成例 2-GRE&TagVLAN 導入	18
第4章	ユースケース	21
4.1	ユースケース選定	21
4.1.1	アクター定義	21
4.1.2	機器の設置, 機器の移動	25
4.1.3	サービス起動	28
4.1.4	トラブルシューティング	31

第 5 章	仮想化技術実装	38
5.1	JJ300.00 における GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成	38
5.2	GRE を利用した実装	39
5.2.1	GRE を利用した実装 (1)	40
5.2.2	GRE を利用した実装 (1)-結果	41
5.2.3	GRE を利用した実装 (2)	43
5.2.4	GRE を利用した実装 (2)-結果	43
5.2.5	GRE を利用した実装 (3)	46
5.2.6	GRE を利用した実装 (3)-結果	46
5.3	GRE&TagVLAN を利用した実装	49
5.3.1	GRE&TagVLAN を利用した実装-結果	50
第 6 章	評価	53
6.1	機器に必要な機能対応	53
6.2	設定の容易性	54
6.3	実装評価	55
6.4	帯域消費率	55
6.5	ユースケース対応評価	56
第 7 章	まとめ	60

目次

2.1	LLDPDU フレーム構成	6
2.2	ベンダー拡張フィールドの利用法	6
2.3	GRE を利用したパケットのカプセル化	8
2.4	IEEE802.1Q フレーム (括弧内はオクテット表記)	9
3.1	各仮想化技術の比較 1	11
3.2	各仮想化技術の比較 2	11
3.3	ホームネットワーク接続構成例 1	13
3.4	ホームネットワーク接続構成例 1-GRE	15
3.5	ホームネットワーク接続構成例 1-GRE&TagVLAN	16
3.6	ホームネットワーク接続構成例 2	17
3.7	ホームネットワーク接続構成例 2-GRE	18
3.8	ホームネットワーク接続構成例 2-GRE&TagVLAN	20
4.1	選定ユースケース一覧	23
4.2	1-1.A 新しい機器を設置, PULL 型	25
4.3	1-1.B 機器を移動, PULL 型	26
4.4	1-2.B 機器の存在確認, 通信品質の確認	27
4.5	2-1.B クラウド使用	28
4.6	2-2.B HN 間接続, クラウド使用	29
4.7	2-3.A サービス会社から情報家電を設定, コンフィグレータあり	30
4.8	3-1.C スタティックな設定, クラウド使用	31
4.9	3-2.A 到達性確認 (ネットワーク), コンフィグレータあり	32
4.10	3-3.A 到達性確認 (アプリケーション), コンフィグレータあり	33
4.11	3-4.A 通信品質の確認, コンフィグレータあり	34
4.12	3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト, コンフィグレータあり	35
4.13	3-6.B サービス間干渉, 干渉サービスリストなし, コンフィグレータあり	36
4.14	3-7.A 端末故障確認, クラウド使用, コンフィグレータあり	37
5.1	GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成	39
5.2	GRE を利用した実装 (1)	40
5.3	manager bridge-sl0-LLDP(1)	41

5.4	エンド端末 bridge-sl0-LLDP(1)	41
5.5	接続構成情報 (1)	42
5.6	機器情報 (1)	42
5.7	GRE を利用した実装 (2)	43
5.8	manager bridge-sl0-LLDP(2)	44
5.9	エンド端末 bridge-sl0-LLDP(2)	44
5.10	接続構成情報 (2)	45
5.11	機器情報 (2)	45
5.12	GRE を利用した実装 (3)	46
5.13	manager bridge-eth1-LLDP(3)	47
5.14	エンド端末 bridge-sl0-LLDP(3)	47
5.15	接続構成情報 (3)	48
5.16	機器情報 (3)	48
5.17	GRE&TagVLAN を利用した実装	49
5.18	VLAN 設定	50
5.19	manager bridge-eth1-LLDP-GRE&TagVLAN	51
5.20	エンド端末 bridge-sl0-LLDP-GRE&TagVLAN)	51
5.21	接続構成情報-GRE&TagVLAN	52
5.22	機器情報-GRE&TagVLAN	52
6.1	各機器に必要な機能対応	53
6.2	機器の増加インターフェース 1	54
6.3	機器の増加インターフェース 2	55
6.4	帯域消費率の比較	56
6.5	ユースケース対応表	57
6.6	1-1.A 新しい機器を設置, クラウド使用, PULL 型 (GRE)	58
6.7	1-1.A 新しい機器を設置, クラウド使用, PULL 型 (GRE&TagVLAN)	59

表 目 次

2.1	LLDP 基本項目一覧	3
2.2	LLDP 拡張項目一覧	4
2.3	UPnP の仕様・機能	4
2.4	TTC Subtype と格納するデータ内容	7
2.5	機器情報とそれを格納する DDD 内のエレメントの対応	7
4.1	選定ユースケース一覧	22

第1章 はじめに

本章では研究背景と研究目的，本論文の構成を示す．

1.1 研究背景

近年のICT技術における発展は目覚ましく，ネットワーク家電やWi-Fi接続のタブレットなどが一般家庭に普及し始めている．これに伴い家庭内のネットワーク機器が増加し，家庭内のネットワークに一般ユーザが自由に機器を追加するような状況となってきた．

家庭内ネットワークに接続される機器の数や種類が増加するにつれ，単純に一つのブロードキャストドメインとして接続するだけでは実現の難しい要求が出るようになってきた．例えば，HEMS(Home Energy Management System)においては，コントローラとエネルギー関連機器が家庭内の他のネットワーク機器とは直接IP接続できない独立したサブネットに接続されることがシステム構成上求められることが多い．また，オーディオ・ビジュアル機器群においては映像や音声の品質を担保するため，これらの機器間での接続は通信品質が保たれた技術で実現されることが望ましい．更に，複雑化するホームネットワークを遠隔管理するために開発されたHTIP(Home network Topology Identifying Protocol)においては基本情報をEthernetフレームの上で定義されたLLDP(LinkLayerDiscoveryProtocol)を用いて収集するが，近年増えつつあるEthernetフレームを用いない6LoWPANプロトコルで接続された機器群で同様の機能を実現するためにはIP上でEthernetフレームを送るしくみが必要となってくる．

1.2 研究目的

本研究は，家庭内ネットワークに特化した，ネットワーク仮想化技術の開発を目的とする．家庭内ネットワークでは，接続される機器の数や種類が増加するにつれ，より複雑なトポロジが必要とされるようになってきた．これに対し，ネットワーク機器や配線を増やすことなしにネットワークの論理的分割やポートおよびケーブルの多重化，ブロードキャストベースのプロトコルの通信範囲の制御などを行なうことのできる仮想化技術を導入する．仮想化技術には，実現方法や動作レイヤの違いにより様々な技術が存在する．本研究では，GREのようなトンネリング技術や，ポートVLANのようなスイッチによるネットワーク分割技術，タグVLANのようなラベリング技術など，各種の技術とその組

合せの評価を行い，信頼性，設定・運用コスト，実装コストなど，ホームネットワークに望まれる性質を備えた技術の実現を目指す．ホームネットワークにおいてもエンタープライズネットワークで用いられているようなネットワーク仮想化の技術を導入すれば，こうした要求をネットワーク接続機器や配線を増加させずにローコストで実現することが可能である．

1.3 本論文の構成

本論文は以下の構成となっている．

- 第1章
 - － 研究の背景と目的，本論文の構成を示す．
- 第2章
 - － 本研究において関連する技術を説明する．
- 第3章
 - － 家庭内ネットワークの仮想化設計に関して述べる．
- 第4章
 - － 評価に使用するため，選定したユースケースに関して述べる．
- 第5章
 - － 仮想化技術の実装に関して述べる．
- 第6章
 - － 仮想化技術導入の評価に関して述べる．
- 第7章
 - － 本論文におけるまとめを述べる．

第2章 関連技術

本章では，本論文に関連する重要な技術・規格について記述する．

2.1 LLDP (Link Layer Discovery Protocol)

機器の種類，設定情報などを LLDP[1] に対応した隣接機器に通知するプロトコルであり，IEEE802.1ab で標準化されている．LLDP に対応した機器は，自身の管理情報を設定した送信間隔 (IEEE802.1ab 規格では 30 秒を推奨) で定期的にマルチキャストする．LLDP で扱う情報は，基本項目 (必須項目・オプション項目) と拡張項目で構成される．基本項目を表 2.1，拡張項目を表 2.2 に示す．IEEE802.1ab において，基本項目は表 2.1 に記される必須項目 3 つ，オプション項目 5 つが規定されている．拡張項目としては，表 2.2 に記される IEEE802.1(VLAN) と IEEE802.3(LAN) 関連の項目が規定されている．また，拡張項目は IEEE802.1ab 規格に準拠することで管理情報を任意に追加することができ，HTIP ではこの拡張項目を利用している．

表 2.1: LLDP 基本項目一覧

項目名	概要	実装
Chassis ID	装置の情報 (Mac アドレス等)	必須項目
Port ID	装置が LLDP を送信したインターフェース情報	必須項目
Time To Live	情報を保持する時間	必須項目
Port Description	インタフェースの概要	オプション項目
System Name	システムの名称	オプション項目
System Description	機器の名称やバージョン，OS 等	オプション項目
System Capabilities	機器の種別	オプション項目
Management Address	管理用 IP アドレス，Mac アドレス	オプション項目

表 2.2: LLDP 拡張項目一覧

項目名	概要
IEEE802.1 関連項目	
Port VLAN ID	ポート VLAN の ID
Port and Protocol VLAN ID	ポート/プロトコル VLAN のサポート/利用状況, VLAN ID
VLAN Name	VLAN の名称と, それに割り当てられた ID
Protocol Identity	利用可能なプロトコル
IEEE802.3 関連項目	
MAC/PHY Configuration Status	オート・ネゴシエーションのサポート/利用状況等
Power Via MDI	電源供給に対するサポート/利用状況等
Link Aggregation	リンク・アグリゲーションのサポート/利用状況
Maximum Frame Size	フレームサイズの最大値

2.2 UPnP(Universal Plug and Play)

UPnP[2] は, UPnP Forum が定めた, デバイス接続時に自動でネットワーク参加を可能とするためのプロトコル集合である. 基本的な仕組みを定義している下位層の UPnP デバイス・アーキテクチャ(UPnP DA) と, 上位層となる UPnP デバイス制御プロトコル(UPnP DCP) とで構成される. UPnP DA の仕様を表 2.3 に示す. UPnP DA の仕様は Addressing, Discovery, Description, Control, Eventing, Presentation の 6 つで構成される. UPnP では, 各種機能を持ったデバイスと, そのデバイスに対して制御を行うコントロール・ポイントが定義されている. デバイスは機能を XML 形式で公開し, コントロール・ポイントはそれを参照することで必要な機能を利用する. HTTP では, 仕様にある Description を利用することで拡張を行っている.

表 2.3: UPnP の仕様・機能

仕様	機能
Addressing	デバイスの IP アドレスを決定
Discovery	ネットワーク上の機器検出
Description	検出したデバイスの詳細情報取得
Control	デバイスの制御
Eventing	デバイスのサービス状態監視
Presentation	WEB を利用したデバイスの設定

2.3 ITU-T G.9973(HTIP)

HTIP[3] はホームネットワークの接続構成を特定するプロトコルであり、リンクレイターブロードキャストドメインにおいてのみ有効である。HTIP においては、UPnP Device Architecture の Controlled Device が実装 (L3 Agent)、または IEEE 802.1AB の LLDP Agent (Transmit only) が実装 (L2 Agent) された HTIP-エンド端末と、LLDP Agent (L2 Agent) が実装された HTIP-NW 機器が必要である。また、Manager が各 Agent から機器情報及び、接続構成情報を取得することでホームネットワークの接続構成を特定する。Manager はホームネットワーク内の任意の端末に存在することが可能である。機器情報は、各 Agent 毎に管理されており、少なくとも以下 (a) ~ (d) の 4 つの情報から構成される。またその他に、ホームネットワークにおける障害切り分けに有用な情報である、HTIP-エンド端末が通信に使用する通信インタフェースにおける、チャンネル使用状態情報、電波強度情報、通信エラー率情報、ステータス情報、LLDPDU 送信間隔を含めることが可能である。

(a) 区分

- 機器 (Agent) の種別を示す。例えば”TV”や”DVD レコーダ”等の種別を示す値。

(b) メーカーコード

- 機器 (Agent) を製造した会社名を示す。IEEE に登録されたカンパニー ID (OUI コード) で記述される。

(c) 機種名

- メーカー毎に付与される機器 (Agent) のブランド名やシリーズ名を示す。

(d) 型番

- メーカー毎に付与される機器 (Agent) の型番を示す。

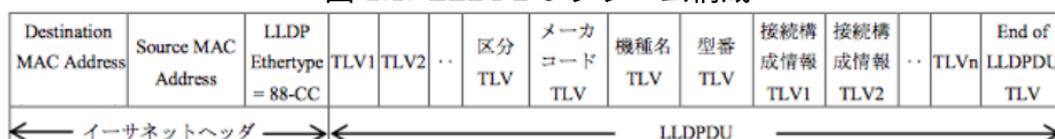
接続構成情報は、NW 機器が保持する情報であり、必須となる情報は MAC アドレステーブルと同義である。NW 機器におけるポートと、そのポートに接続されたエンド端末の MAC アドレス、もしくは他の NW 機器の MAC アドレスが対になった情報を示す。

2.3.1 L2 Agent

L2 Agent は機器情報と接続構成情報を LLDP を使用し、Manager に対し送信する必要がある。HTIP-NW 機器の L2 Agent は少なくとも、HTIP-NW 機器を区別可能な Chassis ID、接続構成情報、HTIP-NW 機器自身の MAC アドレスリスト、機器情報を管理オブジェクトとして保持する。また、L2 Agent は、各 LLDP Agent_n に管理オブジェクト情報を送信し、各 LLDP Agent は、これら管理オブジェクトを LLDPDU フレーム格納し、LLDP

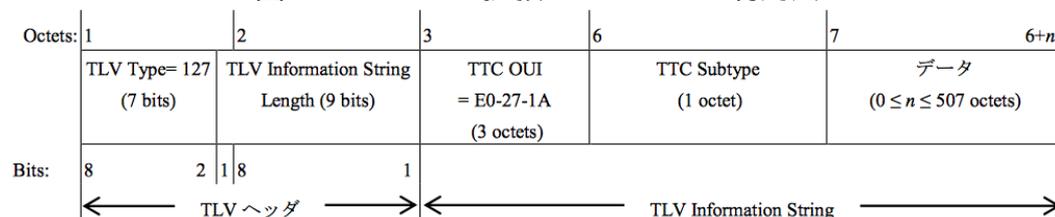
Agent が管理するポートから送信する．L2 Agent が送信する LLDPDU のフレーム構成を図 2.1 に示す．Destination MAC Address から LLDP Ethertype はイーサネットヘッダである．L2 Agent は，イーサネットヘッダの送信先 MAC アドレスを，IEEE802.3 で定められたブロードキャストアドレスである FF-FF-FF-FF-FF-FF に設定する．イーサネットヘッダの送信元 MAC アドレスは，そのポートの MAC アドレスとなる．LLDPDU フレームを受信した NW 機器は，IEEE802.1D を参照し，受信したフレームの送信先 MAC アドレスのアドレスグループに応じた挙動をする．

図 2.1: LLDPDU フレーム構成



L2 Agent は，IEEE802.1AB で規定されたベンダー拡張フィールドを利用し，機器情報と接続構成情報を TLV として送信する．ベンダー拡張フィールドの利用法を図 2.2 に示す．TLV は，TTC の OUI コード E0-27A と，TTC で規定された情報を格納する．また，TLV における文字列の長さはオクテット単位で表記される．

図 2.2: ベンダー拡張フィールドの利用法



LLDPDU には，802.1AB で実装必須となっている TLV を格納する必要がある．また，HTIP 実装機器上の LLDP Agent から送信される LLDPDU には，(a) 区分，(b) メーカーコード，(c) 機種名，(d) 型番，機器を特定する ID が格納された TLV が必ず含まれていなければならない．図 2.2 における TTC Subtype を表 2.4 に示す．Subtype が 1 の場合，TLV は機器情報を示し，Subtype が 2 の場合，TLV は接続構成情報を示す．

表 2.4: TTC Subtype と格納するデータ内容

TTC Subtype	データ内容	実装
1	機器情報	必須項目
2	接続構成情報	HTIP-NW 機器：必須項目 HTIP-エンド端末：不要項目
3	MAC アドレスリスト	オプション項目
4	拡張接続構成情報	HTIP-NW 機器：オプション項目 HTIP-エンド端末：不要項目
5	拡張 MAC アドレスリスト	HTIP-NW 機器：オプション項目 HTIP-エンド端末：不要項目
0, 6-255	予約領域	

2.3.2 L3 Agent

L3 Agent は、UPnP controlled device の機能を利用し、ホームネットワーク内の任意の端末に存在する Manager に対し、機器情報を通知する。機器情報の通知には、Device Description Document の root device における Basic Device Information 部を利用し、新規エレメントの追加、既存エレメントへ値の記述を行う。機器情報の各項目と、その情報を格納するエレメント、また、エレメントに格納可能な文字列の最大長の対応を表 2.5 に示す。

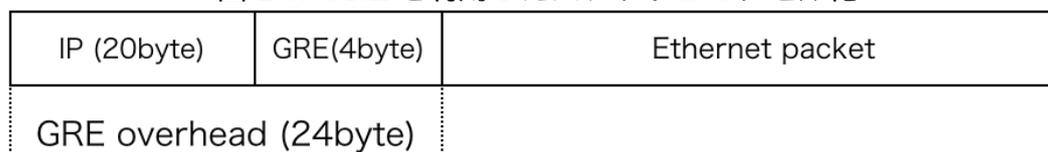
表 2.5: 機器情報とそれを格納する DDD 内のエレメントの対応

機器情報を格納するエレメント	格納される機器情報	エレメントに格納可能な最大長 (octets)
http:X_DeviceCategory	区分	255
http:X_ManufactureOUI	メーカーコード	6
modelName	機種名	31
modelNumber	型番	31
http:X_ChannelStatus	チャンネル使用状態情報	3
http:X_Rssi	電波強度情報	3
http:X_ErrorRate	通信エラー率情報	3
http:X_Status	ステータス情報	64

2.4 GRE(Generic Routing Encapsulation)

GRE[4]は、任意のプロトコルパケットを、別のプロトコルパケットカプセル化して伝送する汎用のトンネリングプロトコルであり、RFC1701, 2784で標準化されている。GREでは、任意のプロトコルパケットをIPでカプセル化し、GREトンネリングを行う両端のGRE対応ルータで、プロトコルパケットに対するカプセル化とその解除を行う。これにより、GREで接続された両端のルータは、Point-to-Pointで直結されているかのような通信が可能である。パケットのカプセル化では、図2.3のように、GREヘッダ(4byte)とIPヘッダ(20byte)が付加され伝送される。また、GREトンネリングを行う際には、両端のルータでトンネルインタフェースを作成し、SourceアドレスとDestinationアドレスを指定する必要があり、SourceアドレスとDestinationアドレスは共に通知されていて、IPの到達性がある必要がある。

図 2.3: GRE を利用したパケットのカプセル化



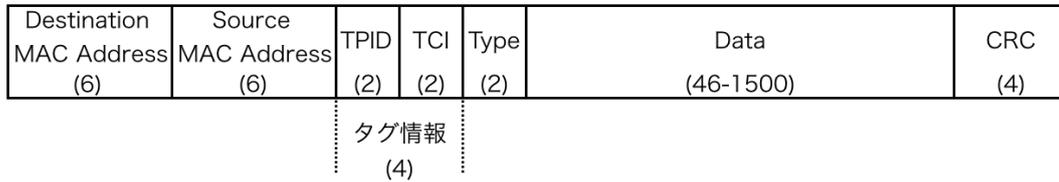
2.5 タグVLAN

タグVLANは、仮想LAN方式の一つで、ネットワークを流れるフレームに識別番号を付加することでグループを構成する方式である。識別番号の記述方式は、IEEE802.1Qで標準化されており、この規格に準拠している。タグVLANでは、レイヤー2スイッチのポートをタグVLANのポートとして設定を行い、フレームに識別番号であるVLAN IDを記したタグ情報を挿入し、Ethernetフレームを伝送する。タグVLANを利用したフレーム伝送の際には、図2.4のようにEthernetフレームに4オクテットのタグ情報が挿入され、そのタグ情報は2オクテットのTPID(Tag Protocol Identifier)と2オクテットのTCI(Tag Control Information)で構成される。TPIDはEthernetの場合0x8100を設定し、受信したフレームのTPIDが0x8100以外ならば、通常のフレームとして処理される。また、TCIはIEEE802.1Qで規定されている4ビットの優先情報と、フレームが所属するVLANを識別するための12ビットのVID(VLAN ID)を設定する。

2.6 VXLAN(Virtual eXtensible Local Area Network)

VXLAN[5]は、レイヤー3ネットワーク上に論理的なレイヤー2ネットワークを構築するトンネリングプロトコルであり、RFC7348で標準化されている。送信元側でレイヤー2

図 2.4: IEEE802.1Q フレーム (括弧内はオクテット表記)



の packets を UDP/IP でカプセル化し、宛先側でカプセル化の解除を行う。VXLAN では、packet のカプセル化と非カプセル化のサービスを VTEP (Virtual Tunnel End Point) が一元的に提供する。送信元の VTEP が VXLAN ヘッダを付加してフレームをカプセル化し、宛先の VTEP に転送する。宛先の VTEP が VXLAN ヘッダを外し、内部フレームを取り出した上で機器に届ける。また、VXLAN ヘッダには 24 ビットの VNI (VXLAN Network Identifier) が含まれ、理論的には約 1600 万のネットワーク分割が可能である。VNI を確認し、所属するネットワークを識別することでネットワークを論理的に分割する。

2.7 GENEVE (Generic Network Virtualization Encapsulation)

GENEVE [6] は、現在 VMware, Microsoft, RedHat, Intel が提唱する新たなカプセル化技術として IETF に提案されている。GENEVE の特徴としては、メタデータをサポートできることである。例として、VXLAN では原則仮想ネットワーク識別子しか扱えず、メタな情報を伝えることが困難なところ、GENEVE では固定フィールドに加え、自由に伝える情報を拡張できる可変長のオプションフィールドが定義されている。このオプションフィールドを利用することで、誰が送信した packet か、どのようなアプリケーションが送信した packet か、といったメタな情報を伝えることが可能である。

第3章 家庭内ネットワーク仮想化設計

本章では，家庭内ネットワークへ仮想化技術を導入するにあたり行った，設計について記述する．

3.1 仮想化技術選択

家庭内ネットワークに接続される機器の数や種類が増加することにより，大きく2つの問題点が挙げられる．第一に，HEMSにおいて，コントローラとエンド端末が家庭内の他のネットワーク機器とは直接IP接続できない独立したサブネットで接続されることがシステム構成上求められる(問題点1)．第二に，非Ethernetの環境においてもEthernetで規定されたプロトコルの利用が望まれ，同様の機能を実現するためにはIP上でEthernetフレームを伝送する仕組みが必要である(問題点2)．これら問題点を解決することができる仮想化技術について，家庭内ネットワークへの導入を想定し比較を行う．前章で記述した，タグVLAN，GRE，VXLAN，GENEVEについて，家庭内ネットワークへの導入を想定し比較を行った図を，図3.1，図3.2に示す．HTIPの非Ethernet上の動作としては，GRE，VXLAN，GENEVEでは可能であり，タグVLANでは不可能である．使用可能数はネットワーク分割可能な数を意味し，タグVLANは4094，VXLAN，GENEVEでは約1600万であり，GREについてはトンネルインタフェースの設定数と，機器性能の上限により変動するため未知数とした．標準化動向としては，タグVLAN，GRE，VXLANは標準化されており，GENEVEは現在IETFで議論されている．導入する際に対応が必要が機器としては，タグVLAN，VXLAN，GENEVEは家庭内ネットワークに所属する全ネットワーク機器が対応する必要があるが，GREはManagerとHTIP実装機器がGRE対応である必要がある．また，導入コストとして，対応機器の価格を調査した．タグVLAN，GRE，VXLANは図に記載した通りであり，GENEVEについては未発表となっている．

現段階の導入を想定した際，GENEVEは普及率の低さから，現段階の導入は困難である．タグVLANは普及率，導入コストから導入が容易であり，問題点1の解決が可能であるが，問題点2の解決は不可能である．VXLANは，問題点1，問題点2共に解決可能であるが，普及率，導入コストの高さから，現段階での導入は困難である．GREは，問題点1，問題点2共に解決可能であり，普及率，導入コストから導入が容易である．以上の比較結果から，現段階ではGREの導入，または，GREとタグVLANを組み合わせた形の導入が最も妥当であると考えられる．

図 3.1: 各仮想化技術の比較 1

名前	非Ethernet上の動作	使用可能数	標準化動向
タグVLAN	不可	4094	IEEE 802.1Qで標準化
GRE	可能	—	RFC1701, 2784 で標準化
VXLAN	可能	約1600万	RFC7348で標準化
Geneve	可能	約1600万	IETFで議論中

図 3.2: 各仮想化技術の比較 2

名前	対応が必要な機器	対応機器価格	備考
タグVLAN	全ネットワーク機器	ポート数: 20 ~52 ¥50,000 ~¥150,000	ネットワーク分割: 可 非Ethernet上の動作: 不可 導入コスト: 安 普及率: 高
GRE	ManegerとHTIP実装機器	同時接続ユーザー数: 20 ~ 1000 ¥40,000 ~¥300,000	ネットワーク分割: 可 非Ethernet上の動作: 可 導入コスト: 安 普及率: 高
VXLAN	全ネットワーク機器	ポート数: 24~64 ¥1,500,000 ~ ¥4,500,000	ネットワーク分割: 可 非Ethernet上の動作: 可 導入コスト: 高 普及率: 中
Geneve	全ネットワーク機器	未発表	ネットワーク分割: 可 非Ethernet上の動作: 可 導入コスト: 未 普及率: 低

3.2 機器の定義

想定する家庭内ネットワーク構成に存在する機器の定義を以下に示す．

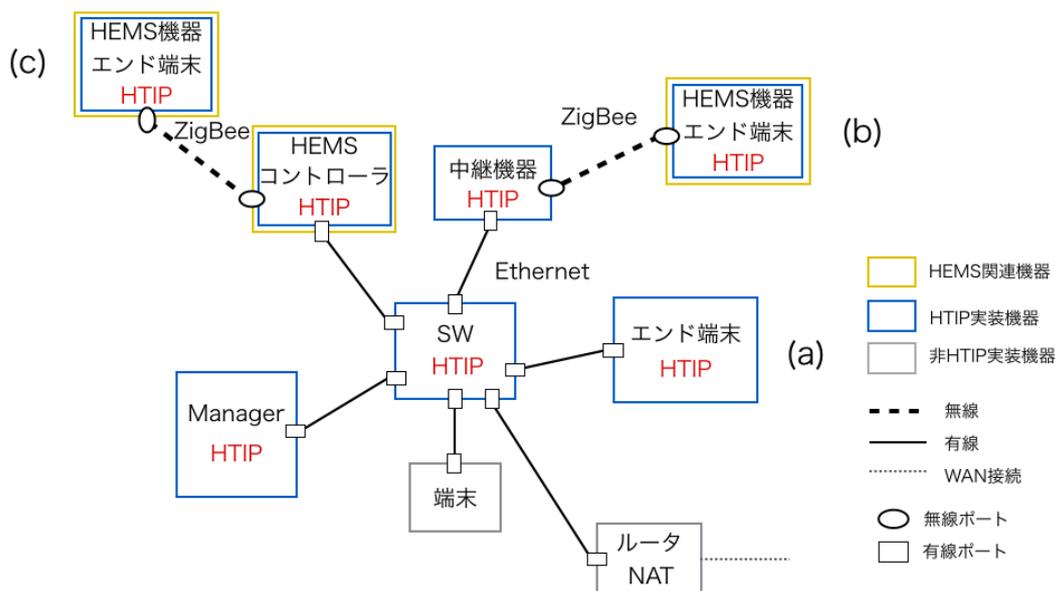
- エンド端末
 - L3Agent，または，L2Agent を搭載したエンド端末．
- HEMS 機器エンド端末
 - HEMS 対応機器で，L3Agent，または，L2Agent を搭載したエンド端末．
- HEMS コントローラ
 - 家庭内エネルギー使用量の見える化や，家電機器の制御を行い，L3Agent，または，L2Agent を搭載した機器．
- SW
 - L2Agent を搭載したスイッチ．
- Manager
 - 各 Agent から，機器情報と接続構成情報を収集してホーム NW を特定する．
- 中継機器
 - ポートを2つ以上保持し，あるポートで受信したフレームやパケットを他ポートに向けて転送する機能を有し，L2Agent を搭載した機器．
- 端末
 - 一般のユーザが追加した機器で，Ethernet で IP 接続されている機器．

3.3 ホームネットワーク接続構成例 1

家庭内ネットワーク仮想化設計にあたり，ホームネットワークにおいて想定される構成である，ホームネットワーク接続構成例 1 を作成した．また，本論文では HTIP 実装機器と HEMS 関連機器，また，見える化の使用等のため一般ユーザにより追加された機器を対象とし，その他の機器についてはスコープ外とする．ホームネットワーク内に HTIP 実装機器や HEM 関連機器が存在し，それら機器により構成されるホームネットワーク接続構成例 1 を図 3.3 に示す．ホームネットワーク接続構成例 1 では，以下の (a) ~ (c) の 3 ケースが考えられる．

- (a) Manager , HEMS コントローラとエンド端末が , Ethernet で接続するケース .
- (b) Manager , HEMS コントローラと HEMS 機器エンド端末が , Ethernet と非 Ethernet データリンク層間をブリッジする中継機器を介して接続するケース .
- (c) Manager と HEMS 機器エンド端末が , Ethernet と非 Ethernet データリンク層間を HEMS コントローラを介して接続するケース .

図 3.3: ホームネットワーク接続構成例 1



3.3.1 ホームネットワーク接続構成例 1-GRE 導入

図 3.3 に示したホームネットワーク接続構成例 1 の環境へ GRE を導入する際 , GRE の設定が必要な機器と , 考えられる接続構成について記述する . GRE 導入を行った接続構成例を図 3.4 に示す . 各 HTIP 実装機器は Manager に対し GRE トンネリングを行う . HTIP 実装機器が所属するネットワークは , 非 HTIP 実装機器が所属するネットワークとは独立したネットワークで構成され , Ethernet フレームを用いないプロトコルで接続された HTIP 実装機器においても , LLDP による機器情報の収集が可能となる . また , 各 HEMS 関連機器は , HEMS コントローラに対し , GRE トンネリングを行い , HEMS 関連機器が所属するネットワークは , HEMS と無関連な機器が所属するネットワークとは独立したネットワークで構成される . 図 3.4 に存在する各機器が , 接続ケース (a) ~ (c) において行う設定を以下に示す .

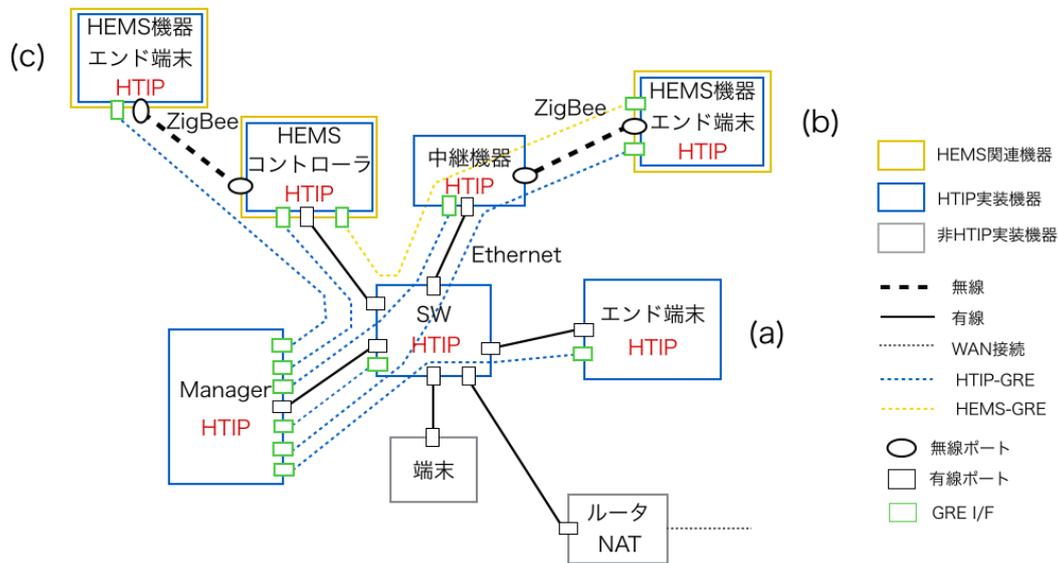
- エンド端末
 - (a) では Manager に対し，GRE トンネリングを設定．
- HEMS 機器エンド端末
 - (b) では Manager と HEMS コントローラに対し，GRE トンネリングを設定．
 - (c) では Manager に対し，GRE トンネリングを設定．
- SW
 - Manager に対し，GRE トンネリングを設定．
- 中継機器
 - Manager に対し，GRE トンネリングを設定．
- HEMS コントローラ
 - (a)，(c) では Manager に対し，GRE トンネリングを設定．
 - (b) では Manager と HEMS 機器エンド端末に対し，GRE トンネリングを設定．
- Manager
 - 全ての HTIP 実装機器に対し，GRE トンネリングを設定．

3.3.2 ホームネットワーク接続構成例 1-GRE&TagVLAN 導入

図 3.3 に示したホームネットワーク接続構成例 1 の環境へ GRE と TagVLAN を組み合わせた形を導入する際，GRE，TagVLAN の設定が必要な機器と，考えられる接続構成について記述する．GRE&TagVLAN 導入を行った接続構成例を図 3.5 に示す．非 Ethernet のプロトコルを経由して Manager と接続する HTIP 実装機器は，Manager に対し GRE トンネリングを行う．Manager，HTIP 実装機器，配下に HTIP 実装機器・HEMS 関連機器が存在するネットワーク機器で，TagVLAN 対応 SW と直接接続する機器は TagVLAN 設定を行う．この構成では，GRE トンネリングにより，非 Ethernet プロトコルを経由する場合の，LLDP による機器情報収集を可能とし，TagVLAN により，HTIP 実装機器・HEMS 関連機器の所属するネットワークの分割を実現する．図 3.5 に存在する各機器が，接続ケース (a) ~ (c) において行う設定を以下に示す．

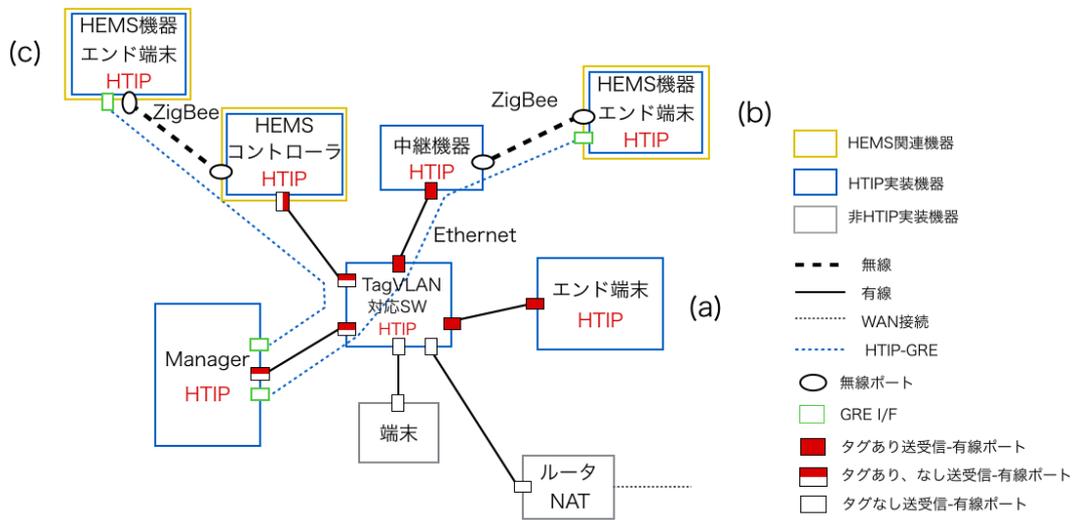
- エンド端末

図 3.4: ホームネットワーク接続構成例 1-GRE



- タグありパケットを送受信。
- HEMS 機器エンド端末
 - (b), (c) では Manager に対し, GRE トンネリングを設定。
- TagVLAN 対応 SW
 - Manager, HEMS コントローラに対し, タグあり, なしパケットを共に送受信。
 - 中継機器, エンド端末に対し, タグありパケットを送受信。
 - 非 HTIP 実装機器, かつ HEMS に関連な機器に対し, タグなしパケットを送受信。
- 中継機器
 - タグありパケットを送受信。
- HEMS コントローラ
 - タグあり, なしパケットを共に送受信。
- Manager
 - タグあり, なしパケットを共に送受信。
 - (b), (c) では HEMS 機器エンド端末に対し, GRE トンネリングを設定。

図 3.5: ホームネットワーク接続構成例 1-GRE&TagVLAN



3.4 ホームネットワーク接続構成例 2

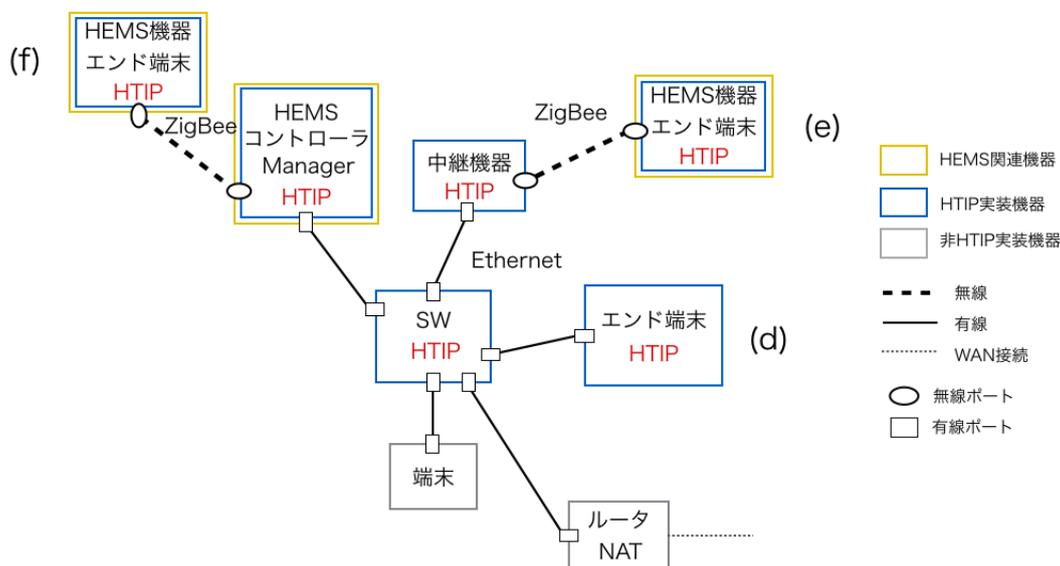
家庭内ネットワーク仮想化設計にあたり、ホームネットワークにおいて想定される構成である、ホームネットワーク接続構成例 2 を作成した。また、3.3 節と同様に、HTIP 実装機器と HEMS 関連機器、また、見える化の使用等のため一般ユーザにより追加された機器を対象とし、その他の機器についてはスコープ外とする。図 3.6 のホームネットワーク接続構成例 2 は HEMS コントローラに Manager が実装された機器が存在する場合の構成である。ホームネットワーク接続構成例 2 では、以下の (d) ~ (f) の 3 ケースが考えられる。

- (d) Manager が実装された HEMS コントローラとエンド端末が、Ethernet で接続するケース。
- (e) Manager が実装された HEMS コントローラと HEMS 機器エンド端末が Ethernet と非 Ethernet データリンク層間をブリッジする中継機器を介して接続するケース。
- (f) Manager が実装された HEMS コントローラと HEMS 機器エンド端末が非 Ethernet で接続するケース。

3.4.1 ホームネットワーク接続構成例 2-GRE 導入

図 3.6 に示したホームネットワーク接続構成例 2 の環境へ GRE を導入する際、GRE の設定が必要な機器と、考えられる接続構成について記述する。GRE 導入を行った接続構成例を図 3.7 に示す。各 HTIP 実装機器は Manager が実装された HEMS コントローラに

図 3.6: ホームネットワーク接続構成例 2

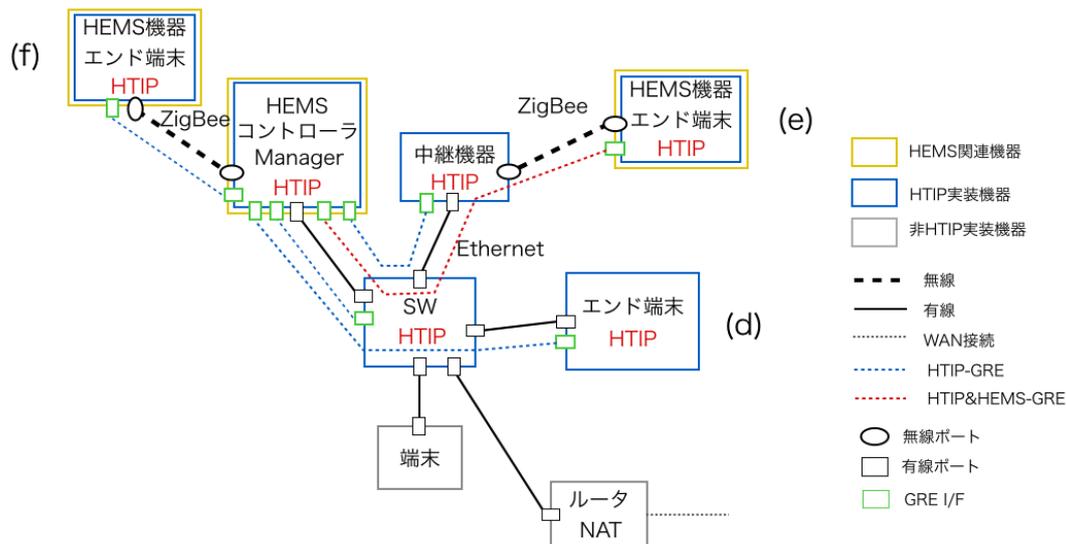


対し GRE トンネリングを行う。HTIP 実装機器が所属するネットワークは、非 HTIP 実装機器が所属するネットワークとは独立したネットワークで構成され、Ethernet フレームを用いないプロトコルで接続された HTIP 実装機器においても、LLDP による機器情報の収集が可能となる。また、各 HEMS 関連機器は、Manager が実装された HEMS コントローラに対し、GRE トンネリングを行い、HEMS 関連機器が所属するネットワークは、HEMS と無関連な機器が所属するネットワークとは独立したネットワークで構成される。(e) のように非 Ethernet のプロトコルを経由し、Manager が実装された HEMS コントローラと接続する場合においては、HTIP に関する GRE と、HEMS に関する GRE が、一本にまとめられた形となる。図 3.7 に存在する各機器が、接続ケース (d) ~ (f) において行う設定を以下に示す。

- エンド端末
 - Manager が実装された HEMS コントローラに対し、GRE トンネリングを設定。
- HEMS 機器エンド端末
 - (e), (f) では Manager が実装された HEMS コントローラに対し、GRE トンネリングを設定。
- SW
 - Manager が実装された HEMS コントローラに対し、GRE トンネリングを設定。
- 中継機器

- Manager が実装された HEMS コントローラに対し，GRE トンネリングを設定．
- Manager が実装された HEMS コントローラ
 - 全ての HTIP 実装機器に対し，GRE トンネリングを設定．

図 3.7: ホームネットワーク接続構成例 2-GRE



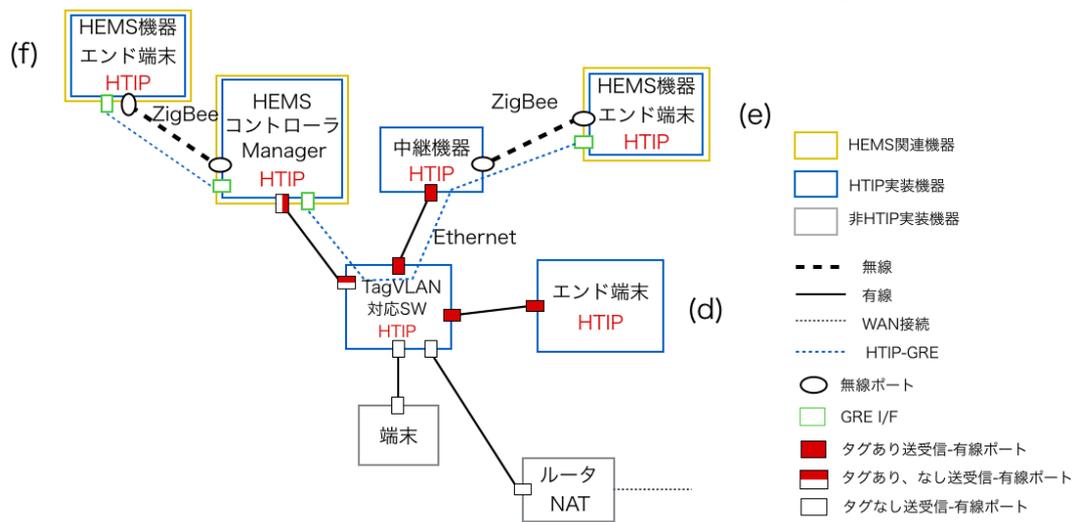
3.4.2 ホームネットワーク接続構成例 2-GRE&TagVLAN 導入

図 3.6 に示したホームネットワーク接続構成例 2 の環境へ GRE と TagVLAN を組み合わせた形を導入する際，GRE，TagVLAN の設定が必要な機器と，考えられる接続構成について記述する．GRE&TagVLAN 導入を行った接続構成例を図 3.8 に示す．非 Ethernet のプロトコルを経由して Manager が実装された HEMS コントローラと接続する HTIP 実装機器は，Manager が実装された HEMS コントローラに対し GRE トンネリングを行う．Manager が実装された HEMS コントローラ，HTIP 実装機器，配下に HTIP 実装機器・HEMS 関連機器が存在するネットワーク機器で，TagVLAN 対応 SW と直接接続する機器は TagVLAN 設定を行う．この構成では，GRE トンネリングにより，非 Ethernet プロトコルを経由する場合の，LLDP による機器情報収集を可能とし，TagVLAN により，HTIP 実装機器・HEMS 関連機器の所属するネットワークの分割を実現する．図 3.8 に存在する各機器が，接続ケース (d) ~ (f) において行う設定を以下に示す．

- エンド端末
 - タグありパケットを送受信．

- HEMS 機器エンド端末
 - (e) , (f) では Manager に対し , GRE トンネリングを設定 .
- TagVLAN 対応 SW
 - Manager が実装された HEMS コントローラに対し , タグあり , なしパケットを共に送受信 .
 - 中継機器 , エンド端末に対し , タグありパケットを送受信 .
 - 非 HTIP 実装機器 , かつ HEMS に無関連な機器に対し , タグなしパケットを送受信 .
- 中継機器
 - タグありパケットを送受信 .
- HEMS コントローラ
 - タグあり , なしパケットを共に送受信 .
- Manager が実装された HEMS コントローラ
 - タグあり , なしパケットを共に送受信 .
 - (e) , (f) では HEMS 機器エンド端末に対し , GRE トンネリングを設定 .

図 3.8: ホームネットワーク接続構成例 2-GRE&TagVLAN



第4章 ユースケース

以前，宮本ら [8] により家庭内に接続されたネットワーク機器を遠隔から管理制御する際の，使用例としてのユースケースが作成されている．このユースケースに対し，検討を行い，更新したユースケースを作成した．また，家庭内ネットワークにおける仮想化技術導入に際し，評価を行うためのユースケース選定を行った．本章では作成したユースケースの説明と評価対象ユースケースの選定について記述する．

4.1 ユースケース選定

家庭内に接続された情報家電などのネットワーク機器を遠隔から管理制御する際の要件明確化のため，機器の設置，機器の移動，サービス起動，トラブルシューティングといったパターンにおいて使用例としてのユースケースが作成されている．このユースケースに対し，検討を行い，更新したユースケースを作成した．作成した全 31 ケースのユースケース一覧を図 4.1 に示す．ユースケースは 3 つのカテゴリに分類されており，その下に各種別のユースケースが存在する．カテゴリは数字，種別はアルファベットで区別している．また，家庭内ネットワークにおいて各仮想化技術導入に際し，作成したユースケースへの対応評価を行うため，評価対象とするユースケースの選定を行う．ユースケースの選定方針として，より多様なアクターが使用され，かつより処理の網羅性が高いケースを選択する方針で 13 ケースを選定した．図 4.1 にあるユースケースの内，ユースケース対応評価に使用する，選定ユースケースの一覧を表 4.1 に示す．

4.1.1 アクター定義

後に選定ユースケースを説明する上で，ユースケースのシーケンスに登場するアクター，及び線の定義を以下に示す．

- 情報家電 (CE)
 - － コンフィグレータに対応している家電．つまり HTTP Agent が動作する任意の家電．
- ホームゲートウェイ (HG)

表 4.1: 選定ユースケース一覧

1. 機器の設置，機器の移動
1-1. 新しいCE 機器をホームネットワークへ接続/CE 機器の接続を変更
1-1.A 新しい機器を設置，PULL 型
1-1.B 機器を移動，PULL 型
1-2. 新しいサービスへの対応
1-2.B 機器の存在確認，通信品質の確認
2. サービス起動
2-1. モバイルデバイスからホームネットワークの CE 機器へアクセス
2-1.B クラウド使用
2-2. ホームネットワーク間でのアクセス
2-2.B HN 間接続，クラウド使用
2-3. 機器設定
2-3.A サービス会社から情報家電を設定，コンフィグレータあり
3. トラブルシューティング
3-1. 機器の状態確認 (機器の存在確認)
3-1.C スタティックな設定，クラウド使用
3-2. ネットワークの到達性 (ネットワークレイヤ)
3-2.A 到達性確認 (ネットワーク)，コンフィグレータあり
3-3. ネットワークの到達性 (アプリケーションレイヤ)
3-3.A 到達性確認 (アプリケーション)，コンフィグレータあり
3-4. ネットワークの品質 (ネットワークレイヤ)
3-4.A 通信品質の確認，コンフィグレータあり
3-5. ネットワークの品質 (アプリケーションレイヤ)
3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト，コンフィグレータあり
3-6. サービス干渉
3-6.B サービス間干渉，干渉サービスリストなし，コンフィグレータあり
3-7. 端末の故障
3-7.A 端末故障確認，クラウド使用，コンフィグレータあり

図 4.1: 選定ユースケース一覧

<p>1. 機器の設置、機器の移動</p> <p>1-1. 新しいCE機器をホームネットワークへ接続/CE機器の接続を変更</p> <p>1-1.A 新しい機器を設置、PULL型</p> <p>1-1.B 機器を移動、PULL型</p> <p>1-1.C 新しい機器を設置、クラウド使用、PUSH型</p> <p>1-1.D 機器を移動、クラウド使用</p> <p>1-1.E 存在抹消、クラウド使用</p> <p>1-2. 新しいサービスへの対応</p> <p>1-2.A 機器の存在確認</p> <p>1-2.B 機器の存在確認、通信品質の確認</p> <p>2. サービス起動</p> <p>2-1. モバイルデバイスからホームネットワークのCE機器へアクセス</p> <p>2-1.A クラウド未使用</p> <p>2-1.B クラウド使用</p> <p>2-2. ホームネットワーク間でのアクセス</p> <p>2-2.A HN間接続済、クラウド未使用</p> <p>2-2.B HN間接続、クラウド使用</p> <p>2-3. 機器設定</p> <p>2-3.A サービス会社から情報家電を設定、コンフィグレータあり</p> <p>2-3.B 直接設定、コンフィグレータなし</p>	<p>3. トラブルシューティング</p> <p>3-1. 機器の状態確認 (機器の存在確認)</p> <p>3-1.A リコール製品の存在確認、コンフィグレータあり</p> <p>3-1.B リコール製品の存在確認、コンフィグレータなし</p> <p>3-1.C スタティックな設定、クラウド使用</p> <p>3-2. ネットワークの到達性(ネットワークレイヤ)</p> <p>3-2.A 到達性確認 (ネットワーク)、コンフィグレータあり</p> <p>3-2.B 到達性確認 (ネットワーク)、コンフィグレータなし</p> <p>3-3. ネットワークの到達性(アプリケーションレイヤ)</p> <p>3-3.A 到達性確認 (アプリケーション)、コンフィグレータあり</p> <p>3-3.B 到達性確認 (アプリケーション)、コンフィグレータなし</p> <p>3-4. ネットワークの品質(ネットワークレイヤ)</p> <p>3-4.A 通信品質の確認、コンフィグレータあり</p> <p>3-4.B 通信品質の確認、コンフィグレータなし</p> <p>3-5. ネットワークの品質(アプリケーションレイヤ)</p> <p>3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト、コンフィグレータあり</p> <p>3-5.B アプリケーションレイヤにおける品質テスト、コンフィグレータなし</p> <p>3-6. サービス干渉</p> <p>3-6.A サービス間干渉、干渉サービスリストあり、コンフィグレータあり</p> <p>3-6.B サービス間干渉、干渉サービスリストなし、コンフィグレータあり</p> <p>3-6.C サービス間干渉、干渉サービスリストあり、コンフィグレータなし</p> <p>3-6.D サービス間干渉、干渉サービスリストなし、コンフィグレータなし</p> <p>3-7. 端末の故障</p> <p>3-7.A 端末故障確認、クラウド使用、コンフィグレータあり</p> <p>3-7.B 端末故障確認、クラウド使用、コンフィグレータなし</p> <p>3-7.C 端末故障確認、クラウド未使用、コンフィグレータあり</p>
---	---

— 家庭内ネットワークと公衆回線の橋渡しを行うネットワーク機器 .

● コンフィグレータ (Cfgr)

— 情報家電の設定管理を行うデバイス . つまり Manager が存在する機器 .

● サービスサーバ (Service Server)

— 機器に対して、設定情報登録やサービス開始設定、遠隔操作や現在状況確認など、それぞれ必要な機能を実装したサービス会社のサーバ .

● モバイルデバイス (Mobile Device)

— スマートフォンやタブレットなどのモバイル端末 .

● 品質確認サーバ (Quality Check Server)

— 品質確認を行うサーバで、ネットワークの帯域確認が出来るようなプログラムが動作している .

● サービス障害情報サーバ (Service Failure Information)

- 干渉確認や干渉確認の評価，NG サービスセットの登録を行うサーバで，サービス干渉が起こるリストが登録してある．
- 故障診断サーバ (Diagnosis Server)
 - 故障診断を行うサーバで，稼働年数や購入時期などの情報から，対象の機器の故障確認を行う．
- 両矢印
 - 実装するプロトコルに依存するシーケンス
- 破線
 - 条件により，必ずしも必要のないシーケンス．『必要があれば』などの表現．
- 一点鎖線
 - ブロードキャスト．

4.1.2 機器の設置，機器の移動

本項では，新規に機器を購入し，設置，及び設置された機器の移動が行われる場合のカテゴリである，『1. 機器の設置，機器の移動』の内，選定したユースケースについて順に説明する．

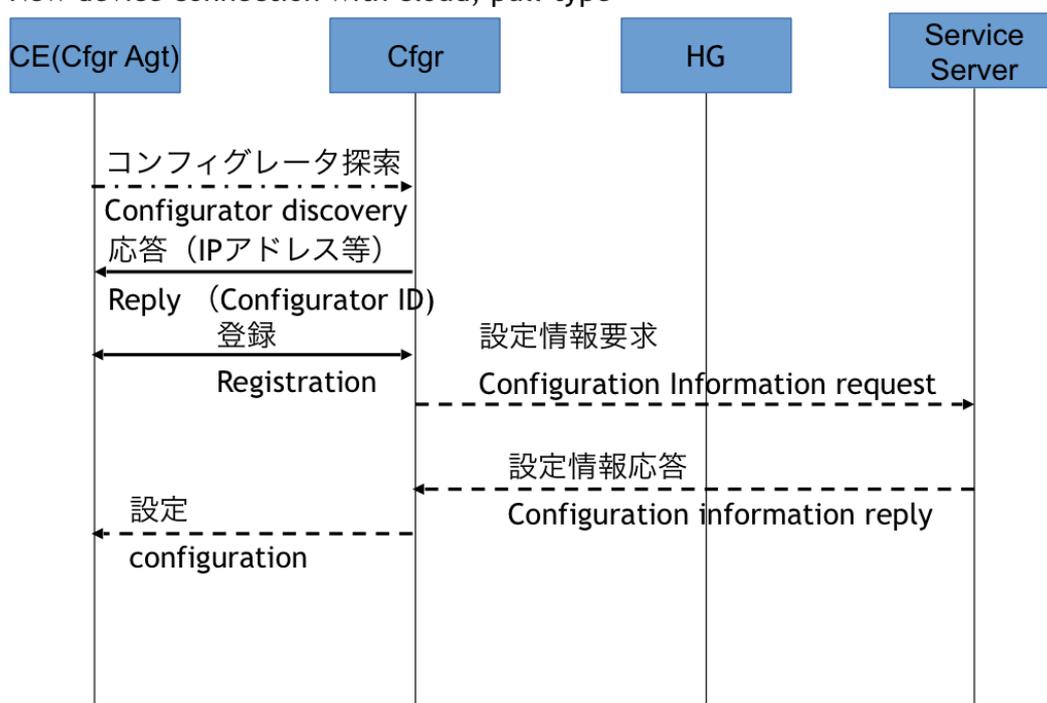
図 4.2: 1-1.A 新しい機器を設置，PULL 型

1 機器の設置、機器の移動

1-1 新しいCE機器をホームネットワークへ接続/CE機器の接続を変更

1-1.A 新しい機器を設置、クラウド使用、PULL型

New device connection with cloud, pull-type



このユースケースは新しい機器を購入後，コンセントを接続することで機器が起動し，情報家電から HTIP 等を用いてコンフィグレータへ存在の通知が行われる．LLDP フレームを受信したコンフィグレータは情報家電に対し応答 (IP アドレス等) する．その後，L3 レベルで機器情報の登録が行われる．さらに，コンフィグレータがサービスサーバに設定情報を取得しに行く．サーバ側では，機器購入時に機器の MAC アドレスと必要な設定が登録されている場合，MAC アドレスを参照することで設定ファイルを取得し，設定情報を機器に反映させ初期設定を完了する．

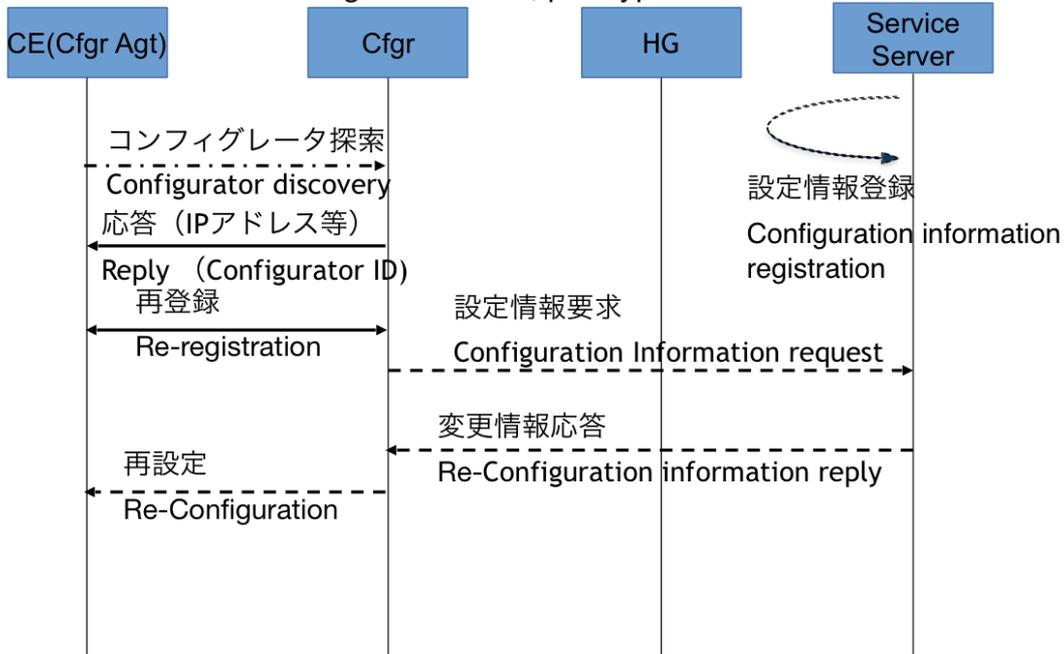
図 4.3: 1-1.B 機器を移動, PULL 型

1 機器の設置、機器の移動

1-1 新しいCE機器をホームネットワークへ接続/CE機器の接続を変更

1-1.B 機器を移動、クラウド使用、PULL型

Device connection change with cloud, pull-type



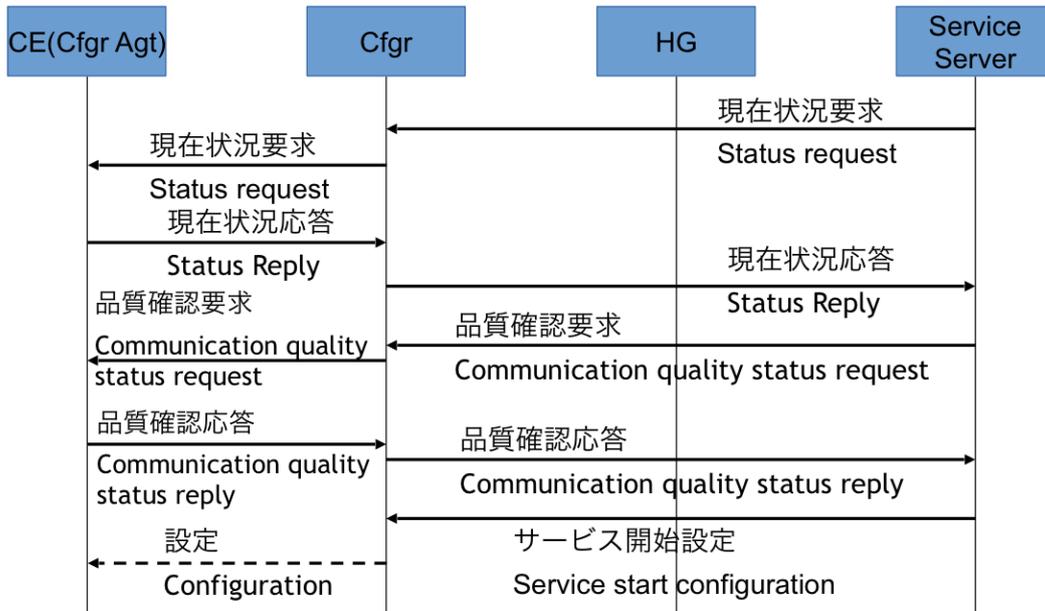
このユースケースは新しい機器を移動後、コンセントを接続することで機器が起動し、情報家電から HTIP 等を用いてコンフィグレータへ存在の通知が行われる。LLDP フレームを受信したコンフィグレータは情報家電に対し応答 (IP アドレス等) する。その後、L3 レベルで機器情報の登録が行われる。さらに、コンフィグレータがサービスサーバに設定情報を取得しに行く。サーバ側では、機器購入時に機器の MAC アドレスと必要な設定が登録されている場合、MAC アドレスを参照することで設定ファイルを取得し、設定情報を機器に反映させ初期設定を完了する。

図 4.4: 1-2.B 機器の存在確認，通信品質の確認

1. 機器の設置、機器の移動
 1-2 新しいサービスへの対応

1-2.B 機器の存在確認、通信品質の確認

Device status check, communication quality check



このユースケースはユーザが新たな通信品質を保つサービスを受ける場合、サービスを提供する会社がユーザ宅にサービス開始の環境が整っているかを確認し、整っていた場合サービス開始に必要な設定を行う。コンフィグレータがサービスサーバから現在状況要求を受け取った場合、HTIPにより対象機器の機器情報更新を行う。更新された機器情報をサービスサーバへ送信し、サービスサーバはその情報を確認し、サービス適用可能かどうか判断する。適用可能な場合、サービスサーバからコンフィグレータに対し品質確認要求が送られ、コンフィグレータは情報家電に対し、ネットワークの品質テストを行いサービスサーバに応答する。サービスに必要な品質が確保できている場合、適用する設定ファイルと対象機器のMACアドレスを送信し、情報家電に設定を反映させる。

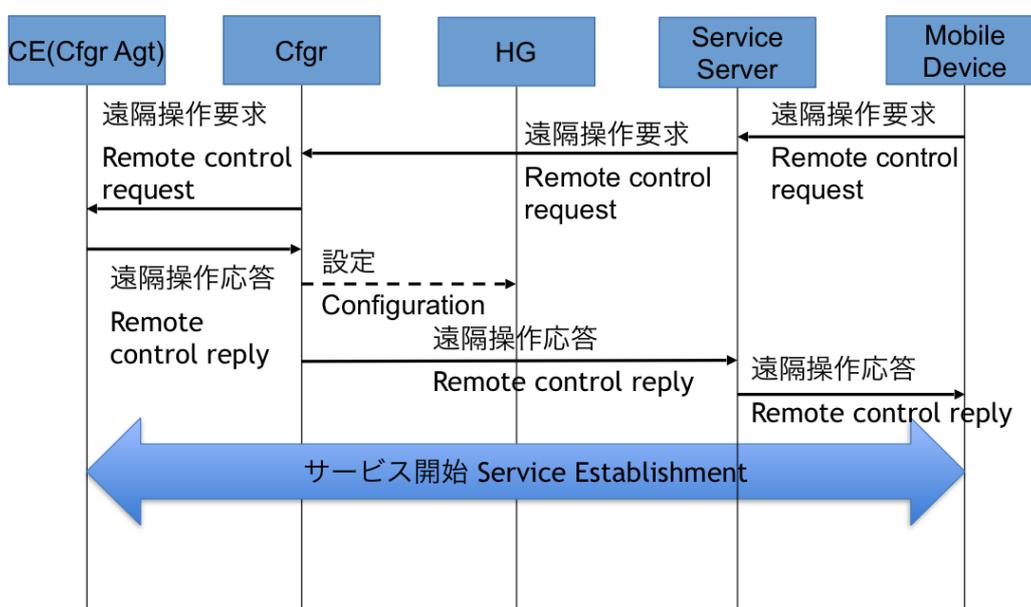
4.1.3 サービス起動

本項では、機器の設置が完了(ネットワークアドレス等を取得済み)し、サービスを起動する場合のカテゴリである、『2. サービス起動』の内、選定したユースケースについて順に説明する。

図 4.5: 2-1.B クラウド使用

2 サービス起動
2-1 モバイルデバイスからHNのCE機器へアクセス
2-1.B クラウド使用

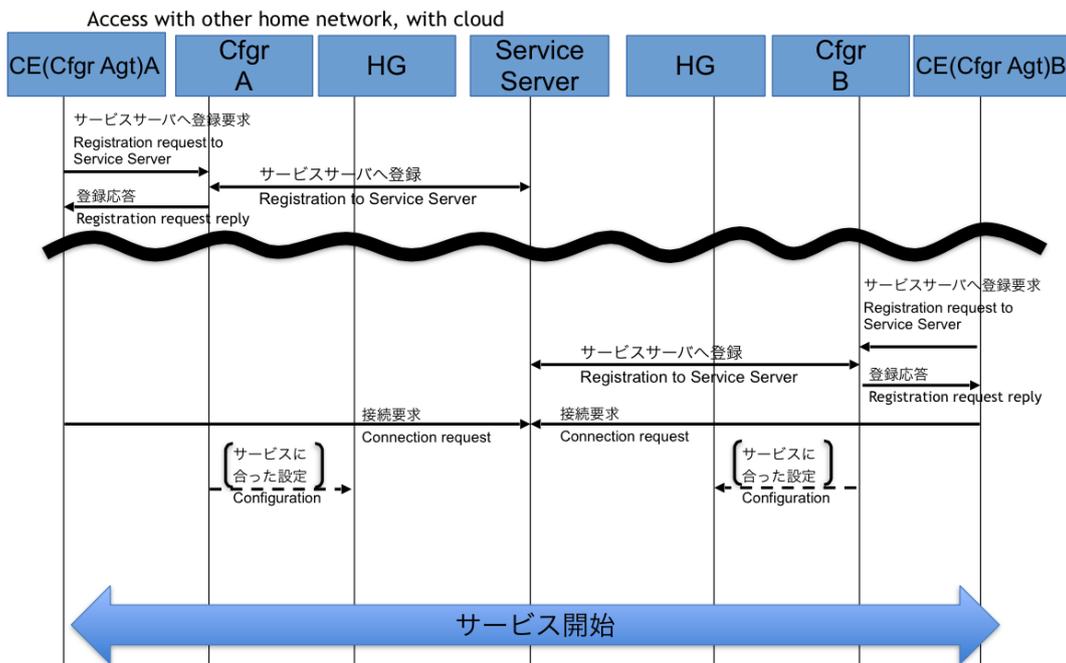
Access from a mobile device to CE device, with cloud, with HG configuration



このユースケースは、ユーザがモバイルデバイスから宅内に存在する情報家電をサービスサーバを介して管理する場合、必要なホームゲートウェイの設定を行い、対象機器へ自動接続しサービスを開始する。モバイルデバイスからサービスサーバへ遠隔操作要求が送信され、サービスサーバは対象機器のリストをコンフィグレータへ送信する。コンフィグレータは機器情報から対象機器を検索し、対象機器へ遠隔操作要求を送信する。接続にホームゲートウェイの設定が必要な場合、設定を行う。ホームゲートウェイの設定反映後、接続準備完了の遠隔操作応答をサービスサーバへ送信し、サービスサーバはその遠隔操作応答をモバイルデバイスに通知する。その後、サービスが開始される。

図 4.6: 2-2.B HN 間接続 , クラウド使用

2 サービス起動
 2-2 ホームネットワーク間でのアクセス
 2-2.B HN間接続、クラウド使用



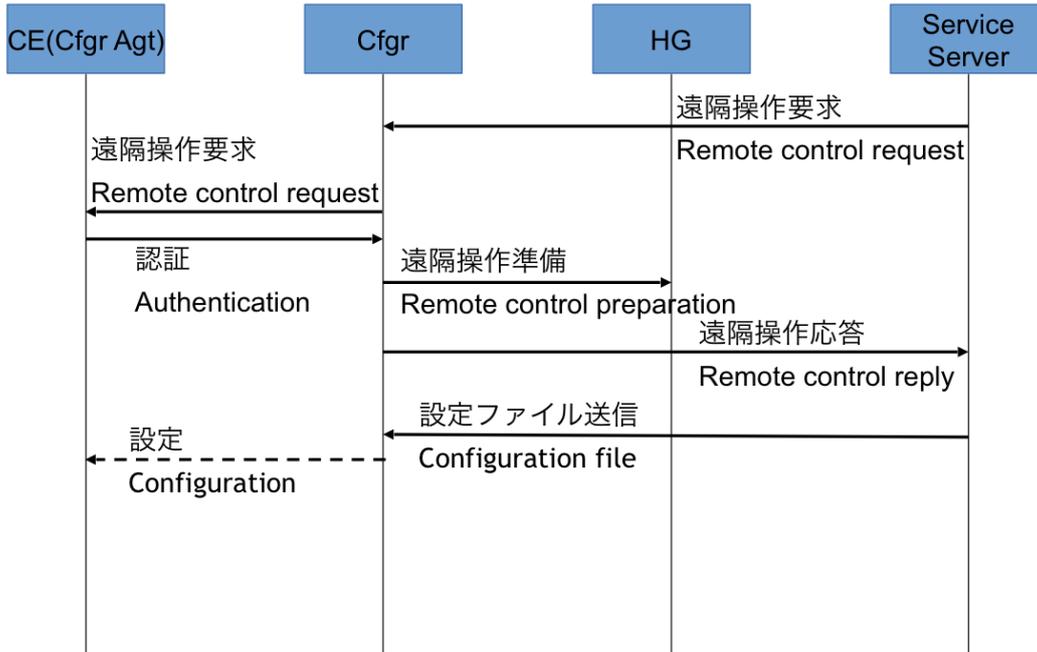
このユースケースは、別々のユーザ宅に存在する情報家電を事前に登録しておいた ID 等を利用し、自動接続を行う。事前に接続先のコンフィグレータをクラウドへ登録しておき、検索することで任意の情報家電同士を接続する。この際、ホームゲートウェイに設定が必要な場合は設定を行う。まず接続される側の情報家電は、サービスサーバへ自らの情報を登録する必要がある。情報家電は登録するサービスサーバの IP アドレスをコンフィグレータへ送信し、コンフィグレータはサービスサーバへ対象の機器情報、及びコンフィグレータ情報を登録する。その後、情報家電を特定するユニークな ID 等を取得し、情報家電の登録情報を更新する。接続する側の情報家電は、サービスサーバの IP アドレスと検索対象の ID をコンフィグレータへ送信し、サービスサーバへ接続する。対象 ID が発見可能であれば、相手側の IP アドレスを取得可能である。その後、接続先のコンフィグレータに接続要求を送信し、互いの機器へ接続先の登録を行う。

図 4.7: 2-3.A サービス会社から情報家電を設定，コンフィグレータあり

2 サービス起動
2-3 機器設定

2-3.A サービス会社から情報家電を設定、コンフィグレータあり

CE configuration from service server with Configurator



このユースケースはサービス会社から任意の情報家電の遠隔設定を行う。サービスサーバからコンフィグレータに対し、遠隔操作要求を送信し、設定ファイルを送信することで対象とする情報家電の設定を行う。はじめに、コンフィグレータに対し、対象とする情報家電の機器情報がサービスサーバから送信される。受け取ったコンフィグレータは、その機器情報を参照することで対象機器を検索し、遠隔操作要求を送信する。認証された場合、ホームゲートウェイで遠隔操作のための設定を行う。その後、コンフィグレータがサービスサーバに対し準備完了の遠隔操作応答を送信する。受け取ったサービスサーバはコンフィグレータに対し、設定ファイルを送信し、情報家電の設定を行う。

4.1.4 トラブルシューティング

本項では、既にサービスが開始されており、トラブル発生によりサービスを正常に受けられない場合のカテゴリである、『3. トラブルシューティング』の内、選定したユースケースについて順に説明する。

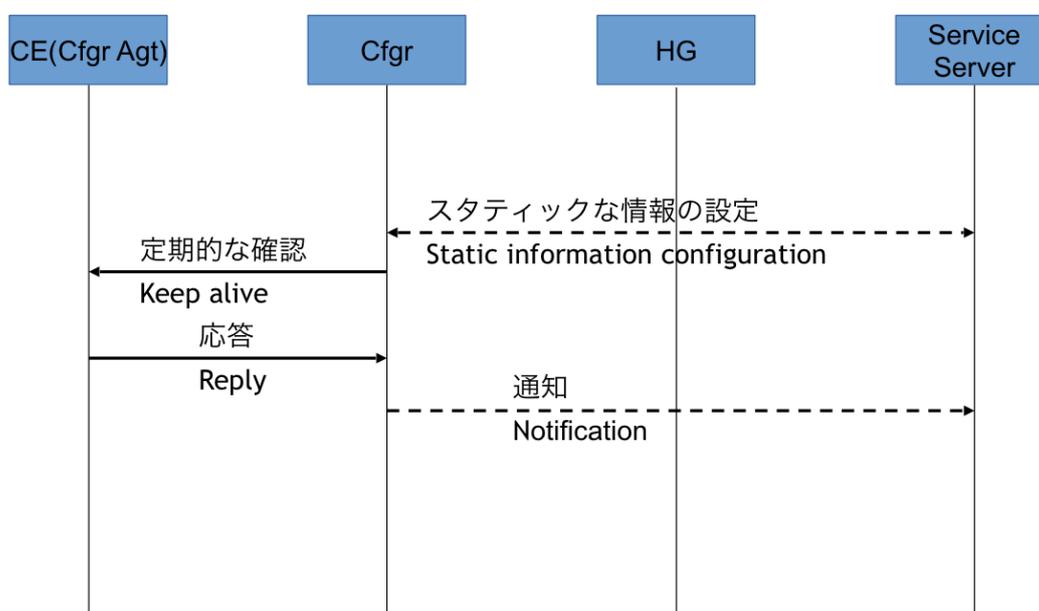
図 4.8: 3-1.C スタティックな設定、クラウド使用

3 トラブルシューティング

3-1 機器の状態確認 (存在確認)

3-1.C スタティックな設定、クラウド使用(修正)

Static configuration with cloud



このユースケースは設置後移動されたくない機器 (見守り専用機器等) などをスタティックな情報として登録しておき、機器の移動がなされていないかを監視する。ネットワークの場所も含めたスタティックな情報の登録は、このユースケース以前に既に行われていることを前提としている。対象の情報家電のあるユーザ宅に存在するコンフィグレータに対し、定期的に確認を取りに行くことで、対象の情報家電を監視する。

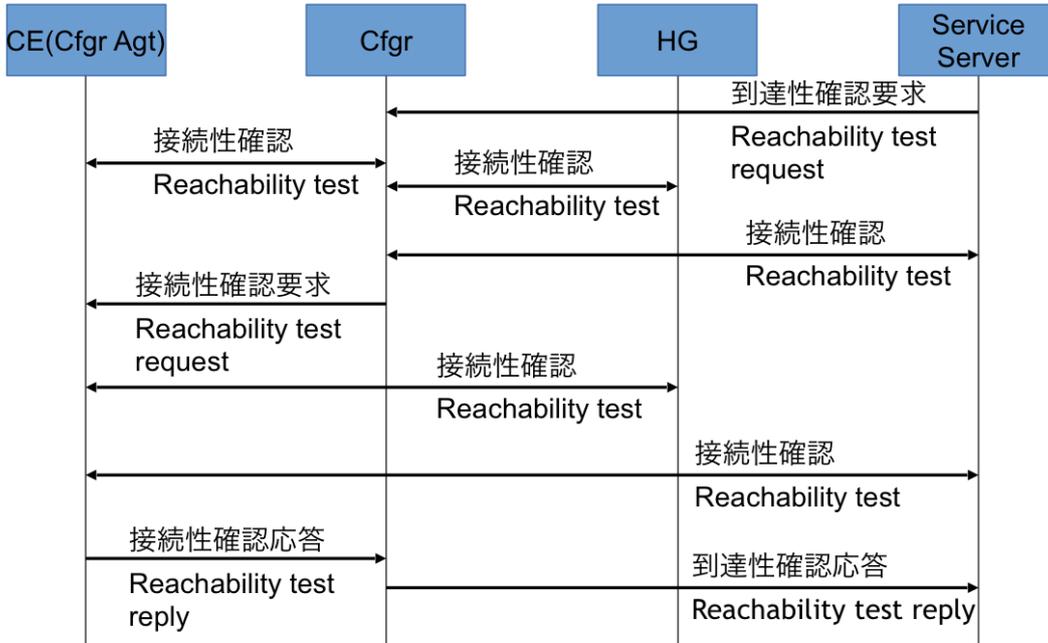
図 4.9: 3-2.A 到達性確認 (ネットワーク), コンフィグレータあり

3 トラブルシューティング

3-2 ネットワークの到達性 (ネットワークレイヤ)

3-2.A 到達性確認 (ネットワーク)、コンフィグレータあり

Reachability test (network) with Configurator



このユースケースはコンフィグレータに接続されている全ての機器へネットワークの到達性を確認しサービスサーバへ応答する。はじめにサービスサーバからコンフィグレータに対し、到達性確認要求が送信される。受け取ったコンフィグレータは接続されている機器を検索し、ping を送信することで疎通確認を行う。全ての接続性確認を終えた後、その結果をまとめてサービスサーバへ送信し、応答する。

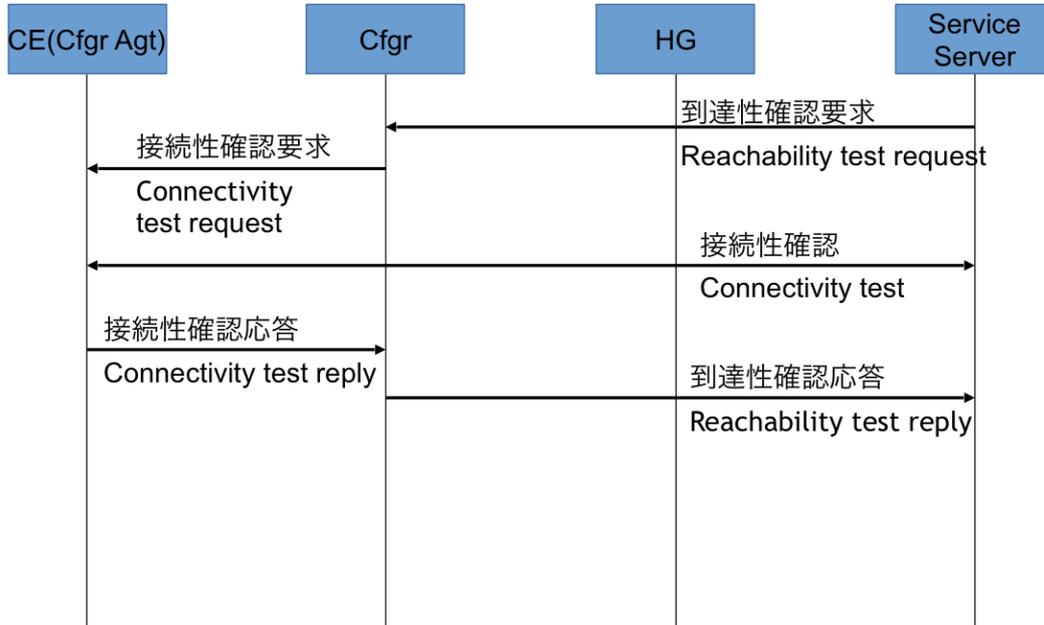
図 4.10: 3-3.A 到達性確認 (アプリケーション) , コンフィグレータあり

3 トラブルシューティング

3-3 ネットワークの到達性 (アプリケーションレイヤ)

3-3.A 到達性確認 (アプリケーション) 、 コンフィグレータあり

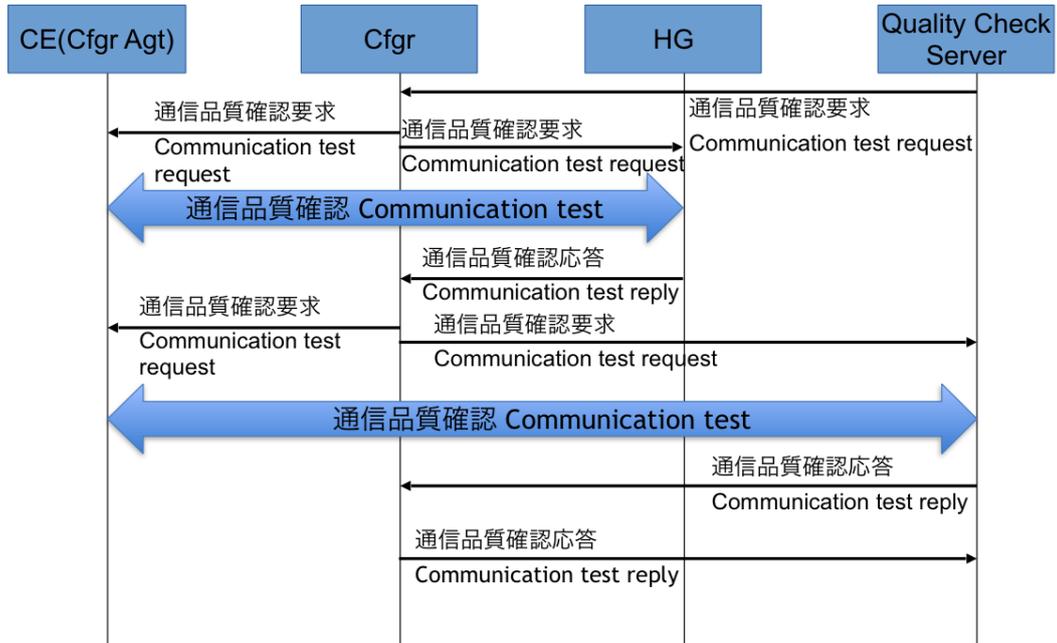
Reachability test (application) with Configurator



このユースケースはコンフィグレータと接続されている特定の情報家電へアプリケーションにおける到達性確認を行い、応答する。サービスサーバはコンフィグレータに対し、アプリケーションでの到達性確認要求を送信する。受け取ったコンフィグレータは情報家電に対し、接続性確認要求を送信し、情報家電のアプリケーションよりサービスサーバへ接続性の確認を行う。情報家電はその結果をコンフィグレータに対し送信し、受け取ったコンフィグレータがサービスサーバへ送信する。

図 4.11: 3-4.A 通信品質の確認，コンフィグレータあり

3トラブルシューティング
 3-4 ネットワークの品質 (ネットワークレイヤ)
 3-4.A 通信品質の確認、コンフィグレータあり
 Communication quality test with Configurator



このユースケースは特定の機器間において、サービスが要求するネットワークでの通信品質を確保できているか確認を行う。コンフィグレータから通信品質を確認する機器に通信品質確認要求を送信し、通信品質の確認を行う。品質確認サーバからコンフィグレータに対し、通信品質確認要求が送信された場合、コンフィグレータは通信品質を確認する特定の機器を検索し、要求を送信する。その後、特定の機器間で通信品質を計測し、結果がコンフィグレータへ送信される。また、その他の機器間についても計測を行い、コンフィグレータはそれらの結果をまとめ、品質確認サーバへ送信する。

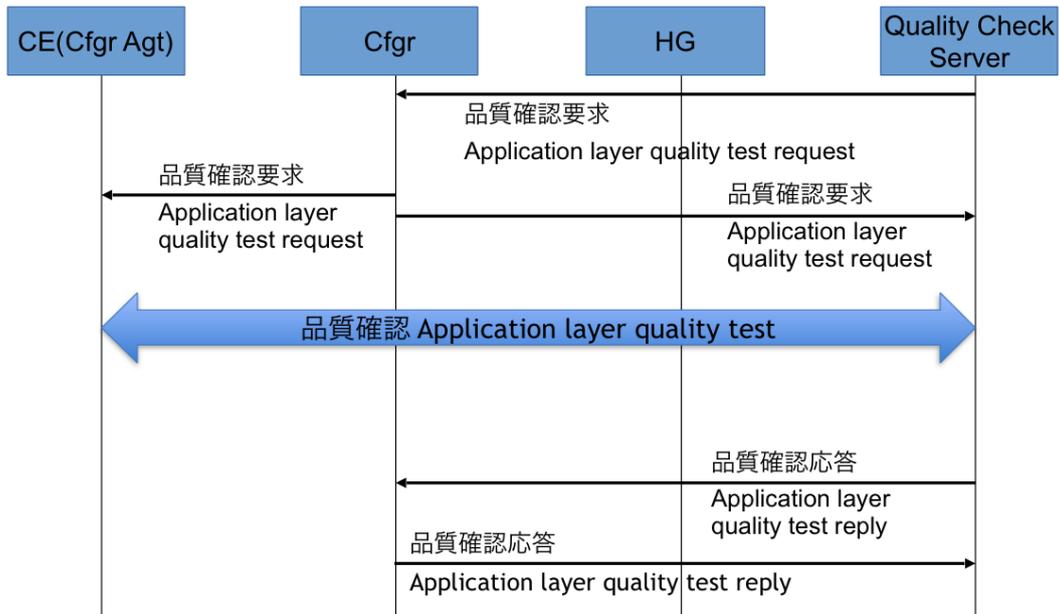
図 4.12: 3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト, コンフィグレータあり

3 トラブルシューティング

3-5 ネットワークの品質 (アプリケーションレイヤ)

3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト、コンフィグレータあり

Application layer quality test with Configurator



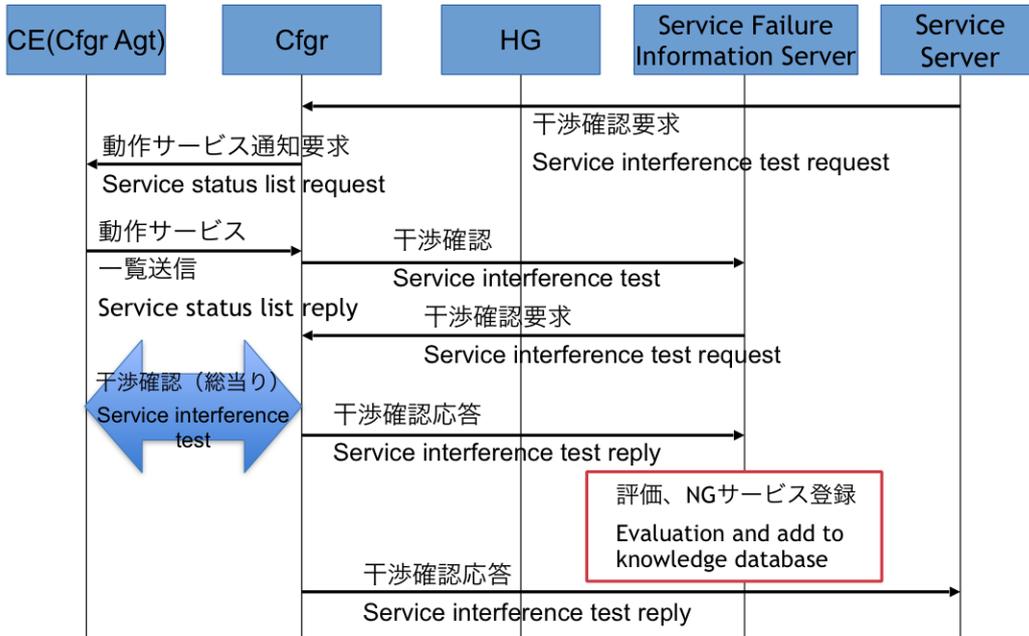
このユースケースは特定の機器間において、サービスが要求するアプリケーションでの通信品質を確保できているか確認を行う。コンフィグレータから通信品質を確認する機器に通信品質確認要求を送信し、通信品質の確認を行う。品質確認サーバからコンフィグレータに対し、通信品質確認要求が送信された場合、コンフィグレータは通信品質を確認する特定の機器を検索し、要求を送信する。その後、特定の機器間で通信品質を計測し、結果がコンフィグレータへ送信される。また、その他の機器間についても計測を行い、コンフィグレータはそれらの結果をまとめ、品質確認サーバへ送信する。

図 4.13: 3-6.B サービス間干渉，干渉サービスリストなし，コンフィグレータあり

3 トラブルシューティング
3-6 サービス干渉

3-6.B サービス間干渉、干渉サービスリストに情報なし、コンフィグレータあり(修正)

Service interference without knowledge database entry with Configurator



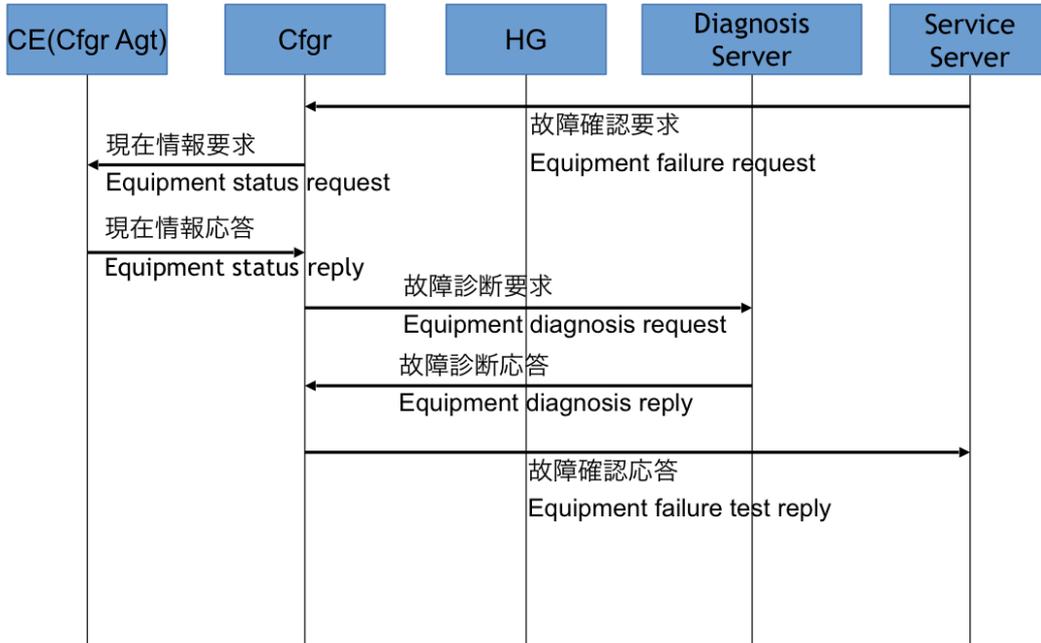
このユースケースはサービス同士の干渉の検知を行う。事前に干渉が発生する NG サービスセットが登録されておらず、動作中のサービス群をコンフィグレータが総当たりで動作させ、干渉確認を行う。はじめにサービスサーバからコンフィグレータに対し、干渉確認要求が送信される。受け取ったコンフィグレータは、情報家電から動作サービス一覧を受け取り、サービス障害情報サーバへ送信する。サービス障害情報サーバでは、受け取った動作サービス一覧が、登録されている NG サービスセットに存在するかを検索する。登録されていない場合、コンフィグレータに対し、干渉確認要求を送信する。要求を受け取ったコンフィグレータは、サービスリストから 2 つずつ、全ての組み合わせを総当たりで動作させることで、不具合の発生するサービスの組み合わせを検索する。その結果をサービス障害情報サーバへ送信し、NG サービスセットの登録を行う。また、サービスサーバに対しても結果の送信を行う。

図 4.14: 3-7.A 端末故障確認，クラウド使用，コンフィグレータあり

3 トラブルシューティング
3-7 端末の故障

3-7.A 端末故障確認、クラウド使用、コンフィグレータあり

Equipment failure test with cloud and Configurator



このユースケースは機器の使用期間や、平均寿命等の情報から端末の故障診断を行う。はじめにサービスサーバからコンフィグレータに対し、対象機器の故障確認要求が送信される。コンフィグレータは対象となる情報家電から現在情報を取得し、故障診断サーバへ送信する。受け取った故障診断サーバは故障であるか確認を行い、応答する。その後、結果をコンフィグレータからサービスサーバへ送信する。

第5章 仮想化技術実装

第3章にて、家庭内ネットワークにおける仮想化技術導入にあたり、GRE、及びGRE&TagVLANの導入が現段階では最も妥当であることを述べた。本章では、今回行ったGRE、GRE&TagVLANの実装に関して記述する。

5.1 JJ300.00におけるGREパケットの処理例で想定されるネットワーク構成

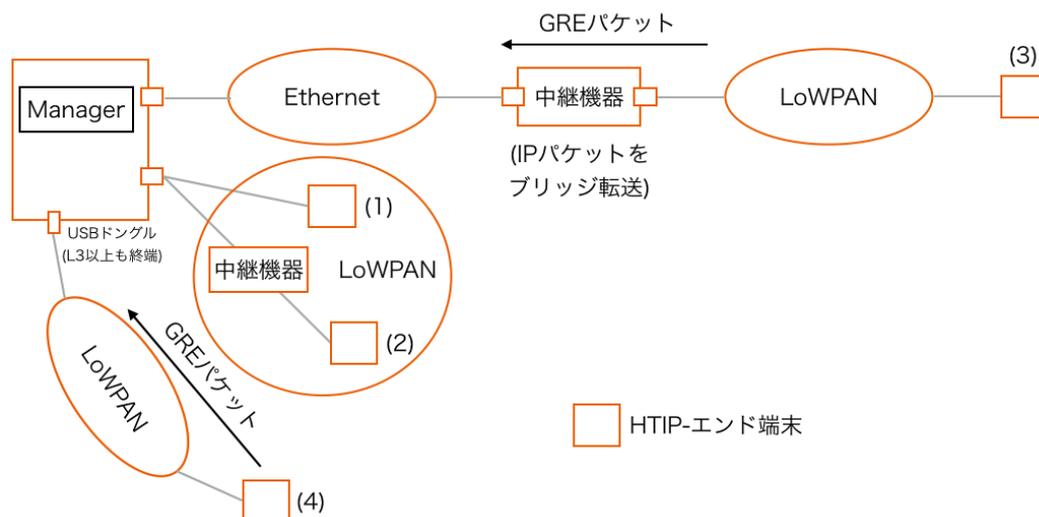
ホームネットワークの接続構成を特定するプロトコルHTIPを定義したJJ-300.00において、カプセル化プロトコルとしてGREを使用する場合の処理例が定義されている。今回、この処理例に沿う形でGRE、GRE&TagVLANの実装を行った。ここでは定義されている、GREパケットの処理例で想定するネットワーク構成について説明する。

LLDPDUを含むEthernetフレームを直接転送できないデータリンク層上でHTIPを使用する場合、L2Agentが存在する機器がIP通信可能である前提条件の下、EthernetフレームをIP上のカプセル化プロトコルを使用し転送する。GREパケットの処理がどの様に行われるか以下に(1)~(4)として示す。また、(1)~(4)を表す図を図5.1に示す。以下で中継装置と呼ぶものは、ホームネットワーク内のアプリケーションがIP通信を行うため、IPパケットをブリッジ転送する機能を備えている。

- (1) Managerを実装する機器が非Ethernetデータリンク層を直接収容し、シングルホップでHTIP-エンド端末と接続するケース
 - Managerを実装する機器がGREパケットを受信し、GREパケット内のLLDPフレームを取り出して処理する。
- (2) Managerを実装する機器が非Ethernetデータリンク層を直接収容し、2ホップでHTIP-エンド端末と接続するケース
 - Managerを実装する機器は、ブリッジ転送されてくるGREパケットを受信し、GREパケット内のLLDPフレームを取り出して処理する。
- (3) Managerを実装する機器と、HTIP-エンド端末が、Ethernetと非Ethernetデータリンク層間をブリッジ転送する中継機器を介して2ホップで接続するケース

- Manager を実装する機器は、ブリッジ転送されてくる GRE パケットを受信し、GRE パケット内の LLDP フレームを取り出して処理する。
- (4) Manager を実装する機器が、非 Ethernet データリンク層だけではなく上位プロトコルも終端する USB ドングルで非 Ethernet データリンク層と接続し、シングルホップで HTIP-エンド端末と接続するケース
- 非 Ethernet データリンク層だけではなく上位プロトコルも終端する USB ドングルが GRE パケットを受信し、GRE パケット内の LLDP フレームを取り出して処理し、Manager を実装する機器との間の HTIP 情報通知用に設けられたインターフェースを介して LLDP フレームの情報を通知する。

図 5.1: GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成



5.2 GRE を利用した実装

前節で述べた JJ-300.00 における、GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成は、第 3 章に記述したホームネットワークにおいて想定される構成である、ホームネットワーク接続構成例 (a) ~ (f) の中に含まれる。そこで、GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (1) ~ (4) について実装する必要がある。今回、(4) については (1) と類似するケースであり、(1) に含まれるものとし、(1) ~ (3) のケースについて実装を行う。

本節を説明するにあたり、以下で登場する機器の役割について記述する。HTIP 実装機器は、Manager が実装された機器と、エンド端末が存在し、これら 2 台間で HTIP の動作による機器情報の収集を行う。また、現在ある環境で GRE 実装を行う際、各 HTIP 実装

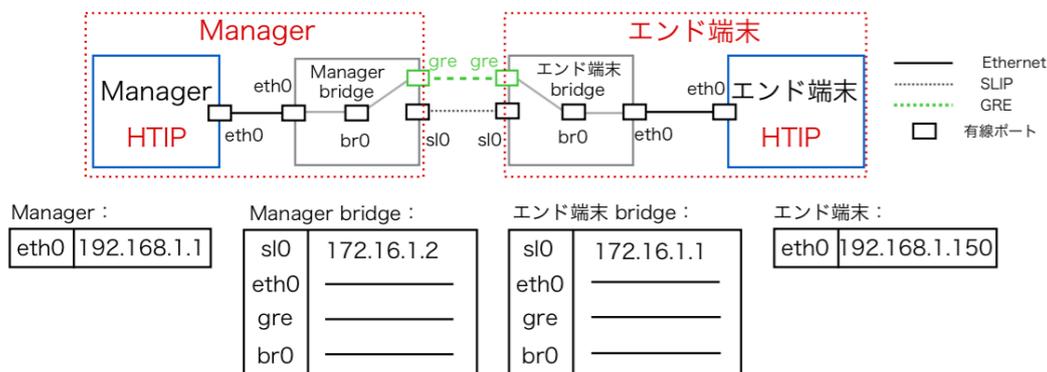
機器上で GRE の設定等，必要な設定を行える環境が整っていないため，Manager bridge とエンド端末 bridge を用意した．これら bridge 機器は，各 HTIP 実装機器にて HTIP が送信するパケットを，特定のインターフェースへブリッジ転送する機能を持ち，各 HTIP 実装機器はこれら bridge 機器と合わせて 1 台の HTIP 実装機器とする様な形とした．Router は異なるネットワーク間の中継を行う．Manager bridge，エンド端末 bridge，Router の環境については，CentOS 7.2.1511，Linux カーネル 3.10.0-327.el7.x86_64 を使用し，エンド端末の環境については，CentOS 5.4，Linux カーネル 2.6.18-164.el5 を使用する．また，パケットキャプチャツールとしては Wireshark を使用する．

5.2.1 GRE を利用した実装 (1)

ここでは GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (1) にあたる，Manager を実装する機器が非 Ethernet データリンク層を直接収容し，シングルホップで HTIP-エンド端末と接続するケースの実装を行う．(1) の実装として構築したネットワーク構成と，各インターフェースに割り当てた IPv4 アドレスを図 5.2 に示す．また，以降の図において eth0，eth1 は Ethernet インターフェース，sl0，sl1 は SLIP インターフェース，gre は GRE インターフェース，br0 はブリッジインターフェースを意味する．

Manager と Manager bridge 間，及びエンド端末とエンド端末 bridge 間は，Ethernet で接続される．また，今回非 Ethernet データリンク層として Serial Line Internet Protocol (SLIP) を使用し，Manager bridge とエンド端末 bridge 間で SLIP による接続を行う．Manager bridge とエンド端末 bridge では GRE インターフェースを作成して Point-to-Point で接続し，SLIP 上を流れるパケットのカプセル化とその解除を行う．さらに，各 bridge 機器は HTIP 実装機器と接続される Ethernet インターフェースと，作成した GRE インターフェースのブリッジ転送を行う．この GRE トンネリングを利用した構成により，各 HTIP 実装機器から送信される HTIP パケットは，非 Ethernet データリンク層間を經由し，宛先の HTIP 実装機器へと届けられる．

図 5.2: GRE を利用した実装 (1)



5.2.2 GRE を利用した実装 (1)-結果

前項では GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (1) の実装を行った。この際、Manager bridge の sl0、及びエンド端末 bridge の sl0 でパケットキャプチャを行い、各インターフェースで LLDP フレームの送受信が行えているか確認を行った。また、Manager にアクセスし、接続構成情報、機器情報を HTIP により取得出来ているか確認を行った。キャプチャ結果を図 5.3、図 5.4、接続構成情報、機器情報の取得結果を図 5.5、図 5.6 に示す。以上の結果の通り、LLDP フレームは GRE カプセル化により受信出来ていることを確認でき、接続構成情報及び機器情報の取得が出来ていることが確認できる。

図 5.3: manager bridge-sl0-LLDP(1)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
703	241.878082920	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
802	271.889101080	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
903	301.900283880	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
978	331.911079680	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1053	361.922366480	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1107	391.933377120	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1180	421.944547080	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1305	451.955461560	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1498	481.966640760	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121


```

▶ Frame 402: 201 bytes on wire (1608 bits), 201 bytes captured (1608 bits) on interface 0
▶ Raw packet data
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.1.2 (172.16.1.2), Dst: 172.16.1.1 (172.16.1.1)
▶ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
▶ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
▶ Link Layer Discovery Protocol
  
```

図 5.4: エンド端末 bridge-sl0-LLDP(1)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
403	124.471772317	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
407	154.481930246	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
410	184.492254178	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
558	214.502558271	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
704	244.513795422	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
805	274.524064836	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
904	304.534172951	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
979	334.544367974	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
1054	364.554427321	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121


```

▶ Frame 158: 201 bytes on wire (1608 bits), 201 bytes captured (1608 bits) on interface 0
▶ Raw packet data
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.1.2 (172.16.1.2), Dst: 172.16.1.1 (172.16.1.1)
▶ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
▶ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
▶ Link Layer Discovery Protocol
  
```

図 5.5: 接続構成情報 (1)

HNW-Manager (AGW)

宅内ネットワーク状況

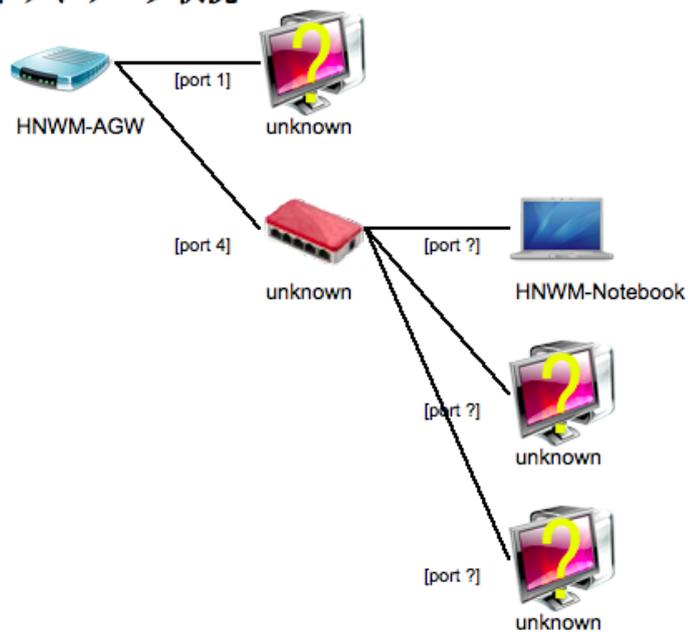


図 5.6: 機器情報 (1)

HNW-Manager (AGW)

詳細情報



装置名	HNWM-Notebook
製品番号	HNWMT3000
装置区分	PC_Notebook
メーカー名	000087
MACアドレス	00:0b:6d:02:14:a0
IPアドレス	192.168.1.150
接続機器 1	unknown

接続確認

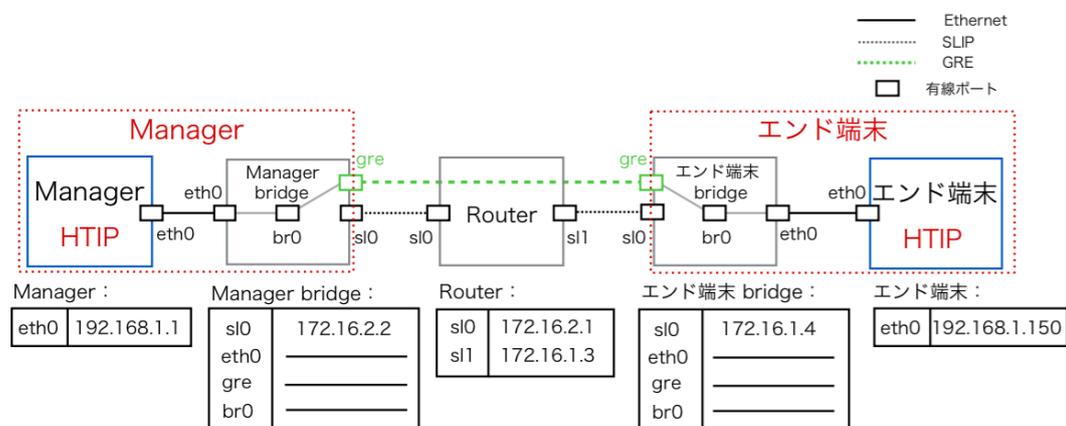
接続結果: 接続を確認しました。

5.2.3 GRE を利用した実装 (2)

ここでは GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (2) にあたる, Manager を実装する機器が非 Ethernet データリンク層を直接収容し, 2 ホップで HTIP-エンド端末と接続するケースの実装を行う. (2) の実装として構築したネットワーク構成と, 各インターフェースに割り当てた IPv4 アドレスを図 5.7 に示す.

Manager と Manager bridge 間, 及びエンド端末とエンド端末 bridge 間は, Ethernet で接続される. また, 非 Ethernet データリンク層として SLIP を使用し, Manager bridge と Router 間, エンド端末 bridge と Router 間は SLIP による接続を行う. Manager bridge, 及びエンド端末 bridge では, ルーティングテーブルを追加し, Router が各インターフェースから受け取ったパケットを, 相互に転送するように設定した. Manager bridge とエンド端末 bridge では GRE インターフェースを作成して Point-to-Point で接続し, Router を介し SLIP 上を流れるパケットのカプセル化とその解除を行う. さらに, 各 bridge 機器は HTIP 実装機器と接続される Ethernet インターフェースと, 作成した GRE インターフェースのブリッジ転送を行う. この GRE トンネリングを利用した構成により, 各 HTIP 実装機器から送信される HTIP パケットは, 非 Ethernet データリンク層間を中継機器を経由し, 宛先の HTIP 実装機器へと届けられる.

図 5.7: GRE を利用した実装 (2)



5.2.4 GRE を利用した実装 (2)-結果

前項では GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (2) の実装を行った. この際, Manager bridge の sl0, 及びエンド端末 bridge の sl0 でパケットキャプチャを行い, 各インターフェースで LLDP フレームによる機器情報の収集が出来ているか確認を行った. また, Manager にアクセスし, 接続構成情報, 機器情報を HTIP により取得出来てい

図 5.10: 接続構成情報 (2)

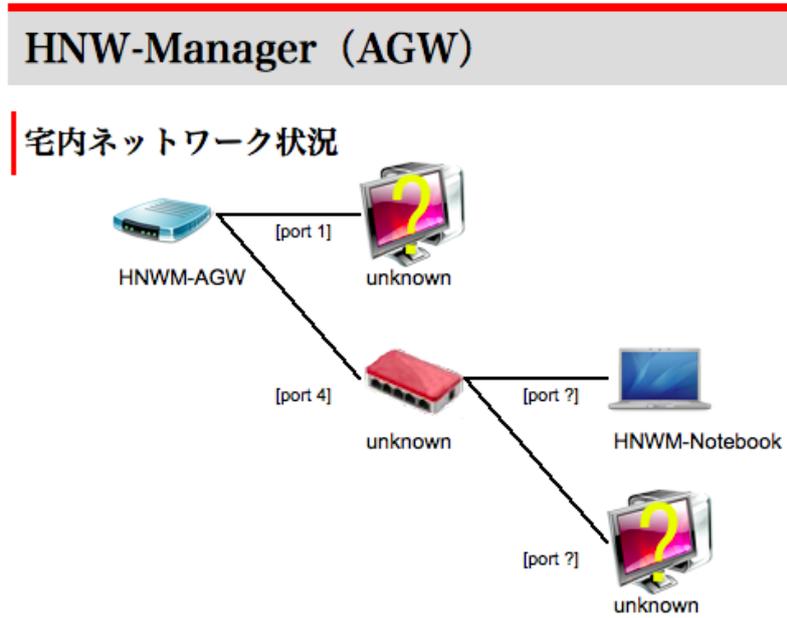


図 5.11: 機器情報 (2)

HNW-Manager (AGW)

詳細情報



装置名	HNWM-Notebook
製品番号	HNWMT3000
装置区分	PC_Notebook
メーカー名	000087
MACアドレス	00:0b:6d:02:14:a0
IPアドレス	192.168.1.150
接続機器 1	unknown

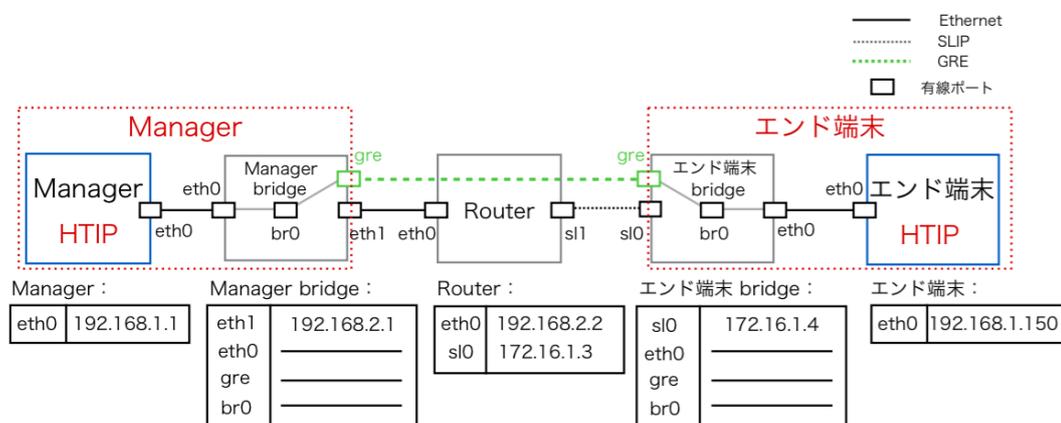
接続結果： 接続を確認しました。

5.2.5 GRE を利用した実装 (3)

ここでは GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (3) にあたる, Manager を実装する機器と, HTIP-エンド端末が, Ethernet と非 Ethernet データリンク層間をブリッジ転送する中継機器を介して 2 ホップで接続するケースの実装を行う。(3) の実装として構築したネットワーク構成と, 各インターフェースに割り当てた IPv4 アドレスを図 5.12 に示す。

Manager と Manager bridge 間, エンド端末とエンド端末 bridge 間, 及び Manager bridge と Router 間は Ethernet で接続される。また, 非 Ethernet データリンク層として SLIP を使用し, エンド端末 bridge と Router 間は SLIP による接続を行う。Manager bridge, 及びエンド端末 bridge では, ルーティングテーブルを追加し, Router が各インターフェースから受け取ったパケットを, 相互に転送するように設定した。Manager bridge とエンド端末 bridge では GRE インターフェースを作成して Point-to-Point で接続し, Router を介し Ethernet と SLIP 上を流れるパケットのカプセル化とその解除を行う。さらに, 各 bridge 機器は HTIP 実装機器と接続される Ethernet インターフェースと, 作成した GRE インターフェースのブリッジ転送を行う。この GRE トンネリングを利用した構成により, 各 HTIP 実装機器から送信される HTIP パケットは, Ethernet と非 Ethernet データリンク層間を中継機器を経由し, 宛先の HTIP 実装機器へと届けられる。

図 5.12: GRE を利用した実装 (3)



5.2.6 GRE を利用した実装 (3)-結果

前項では GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (3) の実装を行った。この際, Manager bridge の eth1, 及びエンド端末 bridge の sl0 でパケットキャプチャを行い, 各インターフェースで LLDP フレームによる機器情報の収集が出来ているか確認を

行った。また、Manager にアクセスし、接続構成情報、機器情報を HTTP により取得出来ているか確認を行った。キャプチャ結果を図 5.13、図 5.14、接続構成情報、機器情報の取得結果を図 5.15、図 5.16 に示す。以上の結果の通り、LLDP フレームは GRE カプセル化により受信出来ていることを確認でき、接続構成情報及び機器情報の取得が出来ていることが確認できる。

図 5.13: manager bridge-eth1-LLDP(3)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
320	59.353530400	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	215	TTL = 121
325	89.361187160	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	215	TTL = 121
476	119.372166560	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	215	TTL = 121
479	129.419401880	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121
484	159.413629760	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121
704	189.424778160	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121
826	219.435603080	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121
909	249.446927240	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121
1027	279.457806920	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	209	TTL = 121


```

▶ Frame 90: 221 bytes on wire (1768 bits), 221 bytes captured (1768 bits) on interface 0
▶ Ethernet II, Src: Logitec_04:48:2f (34:95:db:04:48:2f), Dst: Logitec_04:48:37 (34:95:db:04:48:37)
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.1 (192.168.2.1), Dst: 172.16.1.4 (172.16.1.4)
▶ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
▶ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
▶ Link Layer Discovery Protocol

```

図 5.14: エンド端末 bridge-sl0-LLDP(3)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
185	60.020576563	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	207	TTL = 121
228	90.030843799	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	207	TTL = 121
343	120.041115235	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	207	TTL = 121
566	150.051449593	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	207	TTL = 121
567	160.184229617	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
568	190.192578818	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
715	220.202926216	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	201	TTL = 121
716	230.249704752	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
717	260.242997133	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121


```

▶ Frame 1: 207 bytes on wire (1656 bits), 207 bytes captured (1656 bits) on interface 0
▶ Raw packet data
▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.1 (192.168.2.1), Dst: 172.16.1.4 (172.16.1.4)
▶ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
▶ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
▶ Link Layer Discovery Protocol

```

図 5.15: 接続構成情報 (3)

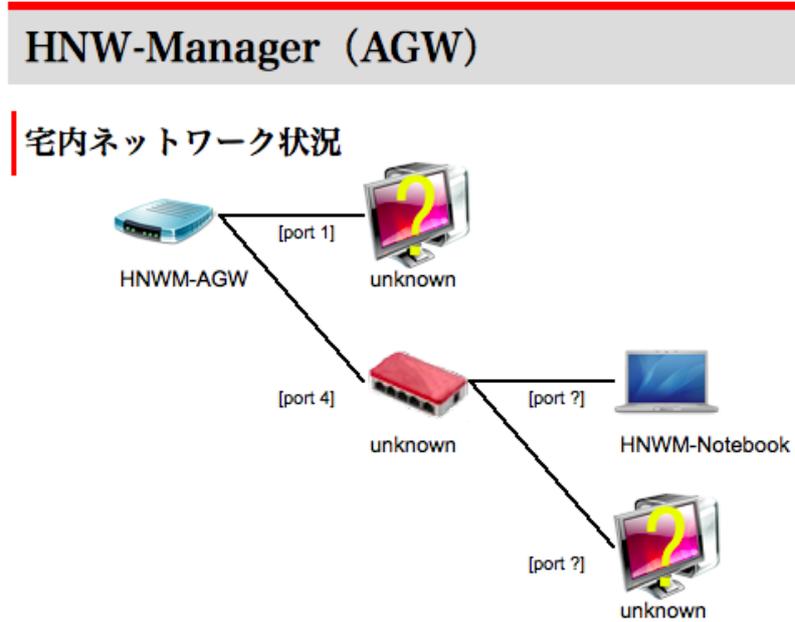


図 5.16: 機器情報 (3)

HNW-Manager (AGW)

詳細情報

装置名	HNWM-Notebook
製品番号	HNWMT3000
装置区分	PC_Notebook
メーカー名	000087
MACアドレス	00:0b:6d:02:14:a0
IPアドレス	192.168.1.150
接続機器 1	unknown

接続結果: 接続を確認しました。

5.3 GRE&TagVLAN を利用した実装

第 5.1 節で述べた，GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (2) において，GRE と TagVLAN を組み合わせた形の実装を行う．GRE&TagVLAN の実装として構築したネットワーク構成と，各インターフェースに割り当てた IPv4 アドレスを図 5.17 に示す．

Manager と Manager bridge 間，エンド端末とエンド端末 bridge 間，Manager bridge と TagVLAN 対応スイッチ，Router と TagVLAN 対応スイッチ間は Ethernet で接続される．また，非 Ethernet データリンク層として SLIP を使用し，エンド端末 bridge と Router 間は SLIP による接続を行う．TagVLAN の設定は図 5.18 のように行い，スイッチポート 1 ~ 4 をタグなし，3 ~ 6 をタグあり受信ポートとして設定した．Manager bridge では VLAN インターフェースを作成し，スイッチポート 3 へ接続する．Router も同様に VLAN インターフェースを作成し，スイッチポート 5 へ接続する．また，非 HTIP 実装機器はスイッチポート 1 へ接続する．Manager bridge，及びエンド端末 bridge では，ルーティングテーブルを追加し，Router が各インターフェースから受け取ったパケットを，相互に転送するように設定した．Manager bridge とエンド端末 bridge では GRE インターフェースを作成して Point-to-Point で接続し，Router を介し Ethernet と SLIP 上を流れるパケットのカプセル化とその解除を行う．ここで，Manager bridge では GRE インターフェース作成の際，送信元として VLAN インターフェースを指定する．また，各 bridge 機器は HTIP 実装機器と接続される Ethernet インターフェースと，作成した GRE インターフェースのブリッジ転送を行う．この GRE と TagVLAN を利用した構成により，各 HTIP 実装機器から送信される HTIP パケットは，Ethernet と非 Ethernet データリンク層間を Router，及びスイッチを経由し，宛先の HTIP 実装機器へと届けられる．

図 5.17: GRE&TagVLAN を利用した実装

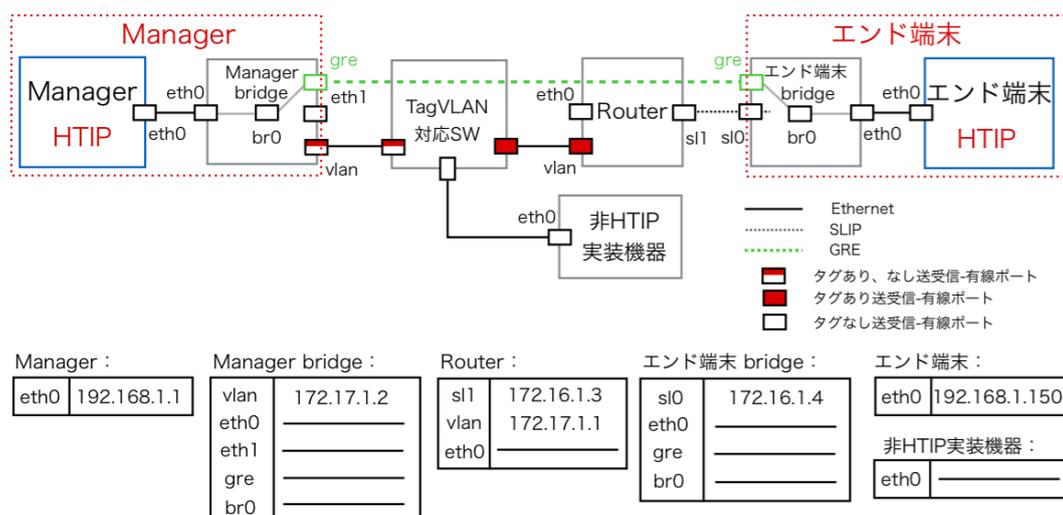


図 5.18: VLAN 設定

```
Select menu option (bridge/vlan): deta
Select VLAN ID (1,102)[1]: 1

VLAN ID: 1.Name: Default VLAN
```

Unit	Untagged Member Ports	Tagged Member Ports
1	1-4	none
Aggregated Links	none	none

```
Select menu option (bridge/vlan): deta
Select VLAN ID (1,102)[1]: 102

VLAN ID: 102.Name: 102
```

Unit	Untagged Member Ports	Tagged Member Ports
1	none	3-6
Aggregated Links	none	none

5.3.1 GRE&TagVLAN を利用した実装-結果

本節では GRE パケットの処理例で想定されるネットワーク構成 (2) おいて、GRE と TagVLAN を組み合わせた形の実装を行った。この際、Manager bridge の eth1、及びエンド端末 bridge の sl0 でパケットキャプチャを行い、各インターフェースで LLDP フレームによる機器情報の収集が出来ているか確認を行った。また、Manager にアクセスし、接続構成情報、機器情報を HTIP により取得出来ているか確認を行った。キャプチャ結果を図 5.13、図 5.14、接続構成情報、機器情報の取得結果を図 5.15、図 5.16 に示す。以上の結果の通り、LLDP フレームは GRE と TagVLAN を組み合わせた構成で受信出来ていることを確認でき、接続構成情報及び機器情報の取得が出来ていることが確認できる。また、非 HTIP 実装機器において、HTIP に関連するパケットを受信していないことを確認した。

図 5.19: manager bridge-eth1-LLDP-GRE&TagVLAN

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1028	275.593950960	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1197	305.605181400	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1290	335.616095400	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1311	365.627213840	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1554	395.638273240	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1758	425.649520920	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1785	455.660454680	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1878	485.675706760	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121
1899	515.692679680	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	213	TTL = 121

.....

▷ Frame 753: 213 bytes on wire (1704 bits), 213 bytes captured (1704 bits) on interface 0
 ▷ Ethernet II, Src: Logitech_04:48:2f (34:95:db:04:48:2f), Dst: Logitech_04:48:37 (34:95:db:04:48:37)
 ▷ 802.1Q Virtual LAN, PRI: 0, CFI: 0, ID: 102
 ▷ Internet Protocol Version 4, Src: 172.17.1.2 (172.17.1.2), Dst: 172.16.1.4 (172.16.1.4)
 ▷ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
 ▷ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 ▷ Link Layer Discovery Protocol

図 5.20: エンド端末 bridge-sl0-LLDP-GRE&TagVLAN)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
907	262.656966283	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
980	292.668067280	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
983	322.678252862	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1200	352.689441777	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1385	382.699650119	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1390	412.709817941	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1467	442.724000375	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1468	472.740143875	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121
1543	502.750236620	Hitachi_06:75:81	Broadcast	LLDP	195	TTL = 121

.....

▷ Frame 525: 195 bytes on wire (1560 bits), 195 bytes captured (1560 bits) on interface 0
 ▷ Raw packet data
 ▷ Internet Protocol Version 4, Src: 172.17.1.2 (172.17.1.2), Dst: 172.16.1.4 (172.16.1.4)
 ▷ Generic Routing Encapsulation (Transparent Ethernet bridging)
 ▷ Ethernet II, Src: Hitachi_06:75:81 (00:1f:67:06:75:81), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 ▷ Link Layer Discovery Protocol

図 5.21: 接続構成情報-GRE&TagVLAN

HNW-Manager (AGW)

宅内ネットワーク状況

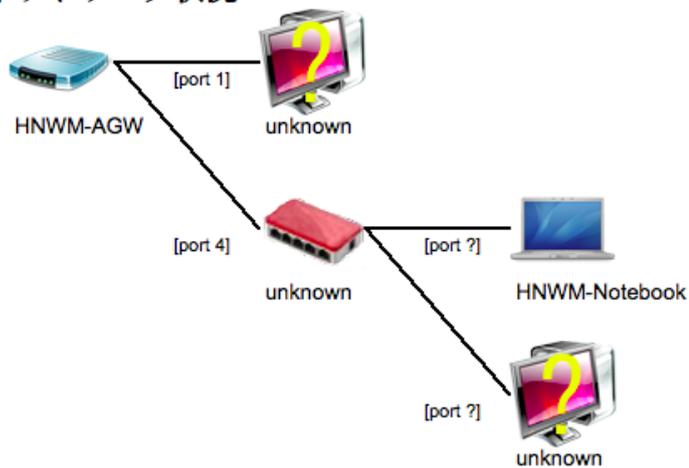


図 5.22: 機器情報-GRE&TagVLAN

HNW-Manager (AGW)

詳細情報



装置名	HNWM-Notebook
製品番号	HNWMT3000
装置区分	PC_Notebook
メーカー名	000087
MACアドレス	00:0b:6d:02:14:a0
IPアドレス	192.168.1.150
接続機器 1	unknown

接続確認

接続結果: 接続を確認しました。

第6章 評価

6.1 機器に必要な機能対応

第3章では、家庭内ネットワークにおける仮想化技術導入の技術選択として、普及率、導入コストといった点から、GRE、及びGRE&TagVLANが最も妥当であると述べた。また、ホームネットワークにおいて想定される接続構成例を作成した。さらに、この接続構成例にGRE、及びGRE&TagVLANを導入した際に想定される接続構成例を作成した。仮想化導入を想定する際、ホームネットワーク内に存在する各機器が必要な機能対応についてまとめた図を図6.1に示す。

GRE導入においては、HTIP実装機器とManagerがGRE対応必須となっており、HEMS関連機器は一般のユーザが追加した機器が同一ネットワーク内に存在する場合にGRE対応が必要となる。GRE&TagVLANではスイッチのTagVLAN対応が必須であり、TagVLAN対応スイッチに直接接続するHTIP実装機器、及びHEMS関連機器はTagVLAN対応が必須である。また、HTIP実装機器とManagerは、これら機器間のデータ送受信において、Ethernetフレームを用いないプロトコルを経由する場合に必須となる。さらに、HEMS関連機器は、ネットワーク分割の役割をTagVLANが担うためGRE対応の必要はない。以上より仮想化技術導入を行う際、ホームネットワーク内に存在する機器に必要な機能対応が明らかとなった。

図 6.1: 各機器に必要な機能対応

	GRE	GRE & TagVLAN
HTIP実装機器	GRE対応：必須	GRE対応：非Ethernet経由の場合必要 TagVLAN対応：スイッチと直接接続の場合必須
HEMS関連機器	GRE対応：一般端末と同一のネットワークに存在する場合必須	GRE対応：必要なし TagVLAN対応：スイッチと直接接続の場合必須
Manager	GRE対応：必須	GRE対応：必須 TagVLAN対応：スイッチと直接接続の場合必須
HEMSコントローラ	GRE対応：一般端末と同一のネットワークに存在する場合必須	GRE対応：必要なし TagVLAN対応：スイッチと直接接続の場合必須
スイッチ	TagVLAN対応：必要なし	TagVLAN対応：必須

6.2 設定の容易性

第3章で記述した，ホームネットワーク接続構成例において仮想化技術導入を行うことで，GRE 及び VLAN により機器の持つインターフェースが増加する．ホームネットワーク構成例 1，2 に対し GRE 及び GRE&TagVLAN の導入を行うことで，各機器において増加するインターフェースについてまとめた図を図 6.2，図 6.3 に示す．

GRE 導入について，HEMS 機器エンド端末は Manager 及び HEMS コントローラに対し，2本の GRE トンネリングを設定する必要がある．これに対し，Manager 実装の HEMS コントローラであれば，これら 2本の GRE トンネリングを 1本にまとめる形となり，機器に増加するインターフェースも 1つ減少させることができる．また，GRE&TagVLAN について，ネットワーク分割の役割を TagVLAN が担うことで，ネットワーク分割を目的とした GRE トンネリングは不必要となる．さらに，新たに HTIP 実装機器がネットワークに追加される場合を考える．HTIP 実装機器が非 Ethernet のプロトコルを経由し，Manager と接続される場合は，これら両側の機器にて GRE の設定を行う必要がある．しかし，非 Ethernet のプロトコルを経由せず，Manager と接続される場合，TagVLAN の機能のみで対応することが可能であり，HTIP 実装機器側の設定のみで完了することができる．以上より，現段階では Manager は HEMS コントローラに実装されていることが望ましく，GRE&TagVLAN の導入が最も設定の容易性が高いと考える．

図 6.2: 機器の増加インターフェース 1

	エンド端末	HEMS機器エンド端末	HEMSコントローラ
構成例1-GRE	・ Manager に対する GRE I/F	・ Manager に対する GRE I/F ・ HEMS コントローラ に対する GRE I/F	・ HEMS 機器エンド端末 に対する GRE I/F
構成例1-GRE & TagVLAN	・ VLAN I/F	・ Manager に対する GRE I/F (非Ethernet経由の場合) ・ HEMS コントローラ に対する GRE I/F ・ VLAN I/F	・ VLAN I/F
構成例2-GRE	・ Manager 実装の HEMS コントローラ に対する GRE I/F	・ Manager 実装の HEMS コントローラ に対する GRE I/F	
構成例2-GRE & TagVLAN	・ VLAN I/F	・ Manager 実装の HEMS コントローラ に対する GRE I/F (非Ethernet経由の場合) ・ VLAN I/F	

図 6.3: 機器の増加インターフェース 2

	SW	Manager	HEMSコントローラ &Manager
構成例1-GRE	・ Managerに対するGRE I/F	・ HEMS機器エンド端末に対する GRE I/F ・ HEMSコントローラに対する GRE I/F	
構成例1-GRE &TagVLAN	・ なし * TagVLAN対応SW	・ HEMS機器エンド端末に対する GRE I/F(非Ethernet経由の場合) ・ VLAN I/F	
構成例2-GRE	・ Manager実装のHEMSコント ローラに対するGRE I/F		・ HEMS機器エンド端末に対する GRE I/F
構成例2-GRE &TagVLAN	・ なし * TagVLAN対応SW		・ HEMS機器エンド端末に対する GRE I/F(非Ethernet経由の場合)

6.3 実装評価

第 5 章で述べた実装結果より、仮想化技術導入により非 Ethernet の環境においても、HTIP 実装機器間による LLDP フレームの送受信を行えていることがわかる。このことから、ホームネットワークにおいても仮想化技術を導入することで、Ethernet フレームを用いないプロトコルで接続された機器群においても、HTIP による機器情報、及び接続構成情報の取得が可能となることがわかった。

6.4 帯域消費率

TR-1043[7] において、ECHONET Lite に利用される規格がまとめられている。これら規格が利用される環境において、仮想化技術を導入する際の、HTIP 実装機器 1 台における、LLDP パケットの送受信による帯域消費率を計算した。また、ホームネット技術の実験施設である iHouse において、現在ではおよそ 200 台のセンサノードが設置されている。この環境において、HTIP を動作させた際の帯域消費率についても計算した。これらをまとめた図を図 6.4 に示す。ここでは LLDPDU に格納する TLV は、実装必須、及び実装推奨とされる、区分、メーカーコード、機種名、型番とし、送信間隔は IEEE802.1AB で推奨される 30 秒とする。また、TLV に記述する内容について、第 5 章で行った実装に使用した HTIP 実装機器の情報と同じものを使用し、区分を 11 オクテット、メーカーコードを 6 オクテット、機種名を 13 オクテット、型番を 9 オクテットとする。IEEE802.15.4 ファミリでは、ネットワーク層として 6LoWPAN を用いることとし、IEEE802.15.1 ファミリではネットワーク層プロトコルとして IPv6 を用いることとする。計算した結果、LLDPDU のサイズは 94 オクテッ

トとなり、このLLDPDUにGREヘッダや各規格毎に、送信の際必要なものが付加される。その結果パケットサイズは、IEEE802.15.4ファミリでは120byte、IEEE802.15.1ファミリでは154byte、IEEE802.11ファミリでは152byteとなる。また、JJ-300.00ではLLDPDUの最大サイズは1500byteと定義されている。そこでLLDPDUのサイズが1500byteの場合の帯域消費率についても計算を行った。この際のパケットサイズとして、IEEE802.15.4ファミリ1774byteでは、IEEE802.15.1ファミリでは1798byte、IEEE802.11ファミリでは1572byteとなる。図より、IEEE802.15.4g-920MHz帯においてHTIP実装機器1台におけるLLDPパケット送受信により、実装必須、及び推奨で0.032%、最大サイズで0.47%の帯域を消費することがわかる。また、200台導入時のLLDPパケット送受信により、実装必須、及び推奨で6.4%、最大サイズで94%と多くの帯域を消費する可能性があることがわかる。

図 6.4: 帯域消費率の比較

無線通信規格	種類	帯域幅	HTIP実装機器1台における LLDPパケット送受信による 帯域消費率		200台導入時のLLDP パケット送受信による 帯域消費率	
			LLDPDU 実装必須、及び推奨	LLDPDU 最大サイズ	LLDPDU 実装必須、及び推奨	LLDPDU 最大サイズ
IEEE802.15.4g 920MHz帯	・ ZigBee ・ Wi-Sun ・ TTC JJ-300.10	100kbps	0.032%	0.47%	6.4%	94%
IEEE802.15.4 2.4GHz帯	・ ZigBee	250kbps	0.013%	0.19%	2.6%	38%
IEEE802.15.1 2.4GHz帯	・ Bluetooth	3Mbps	0.0014%	0.016%	0.28%	3.2%
IEEE802.11g 2.4GHz帯	・ Wi-Fi	54Mbps	0.000075%	0.00078%	0.015%	0.16%
IEEE802.11n 2.4/5GHz帯	・ Wi-Fi	600Mbps	0.0000068%	0.00007%	0.0014%	0.014%

6.5 ユースケース対応評価

第4章で記述した選定ユースケースに対し、GRE、及びGRE&TagVLANの導入を行った際の対応評価を行う。図6.5はユースケース対応評価を行った結果をまとめた図である。対応評価において、一部対応できないユースケースとして1-1.A、1-1.Bの2ケースが存在する。1-1.A、及び1-1.Bのケースでは、CE機器はコンセントの接続によって起動した際、LLDPフレームをブロードキャストし、受信したコンフィグレータがIPアドレス等の応答を行う。しかし、CE機器とコンフィグレータ間で非Ethernetのプロトコルを経由する場合、LLDPフレームの送受信は行うことができない。これを可能とするためには、機器の起動時に、CE機器とコンフィグレータ間でGREの設定が必要となる。『1-1.A 新

しい機器を設置，クラウド使用，PULL型』に，GRE，及びGRE&TagVLANの処理を含めたユースケースを図6.6，図6.7に示す．つまり，起動時にコンフィグレータとCE機器間でGREの設定を行う必要があり，現在では，あらかじめコンフィグレータに静的な情報を与えることでユースケースへの対応が可能となるが，それ以外の方法で対応可能となるかは今後の課題とする．また，その他の選定ユースケースについては，起動時の処理が完了した後のシーケンスであるため全て対応可能である．

図 6.5: ユースケース対応表

number	GRE	GRE & TagVLAN
1-1.A 新しい機器を設置、PULL型	△	△
1-1.B 機器を移動、PULL型	△	△
1-1.E 存在抹消、クラウド使用	○	○
1-2.B 機器の存在確認、通信品質の確認	○	○
2-1.B モバイルデバイスからホームネットワークのCE機器へアクセス、クラウド使用	○	○
2-2.B ホームネットワーク間でのアクセス、HN間接続済、クラウド使用	○	○
2-3.A サービス会社から情報家電を設定、コンフィグレータあり	○	○
3-1.C 機器の状態確認、スタティックな設定、クラウド使用	○	○
3-2.A 到達性確認(ネットワーク)、コンフィグレータあり	○	○
3-3.A 到達性確認(アプリケーション、コンフィグレータあり)	○	○
3-4.A 通信品質の確認、コンフィグレータあり	○	○
3-5.A アプリケーションレイヤにおける品質テスト、コンフィグレータあり	○	○
3-6.B サービス間干渉、干渉サービスリストなし、コンフィグレータあり	○	○
3-7.A 端末故障確認、クラウド使用、コンフィグレータあり	○	○

図 6.6: 1-1.A 新しい機器を設置 , クラウド使用 , PULL 型 (GRE)

1 機器の設置、機器の移動

1-1 新しいCE機器をホームネットワークへ接続/CE機器の接続を変更

1-1.A 新しい機器を設置、クラウド使用、PULL型 (GRE)

New device connection with cloud, pull-type

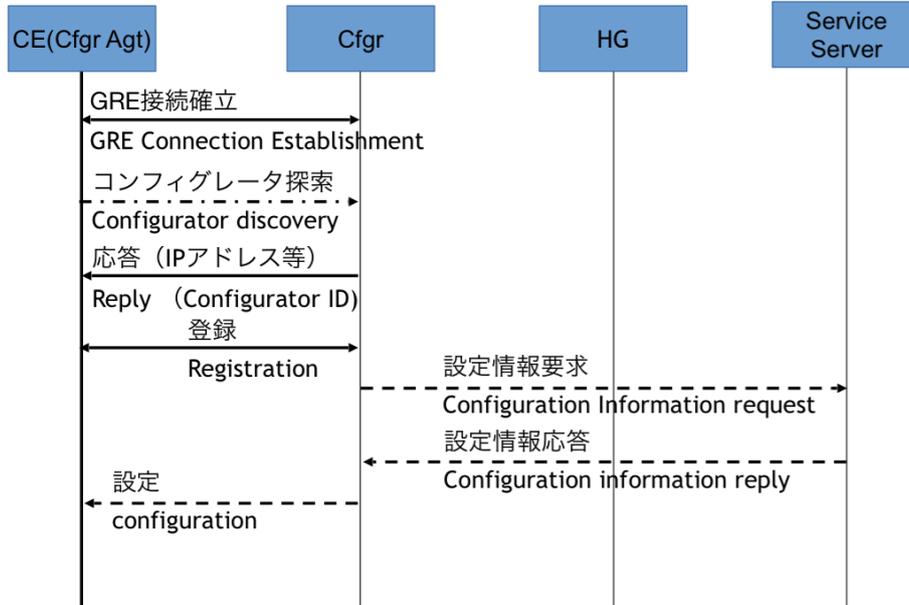


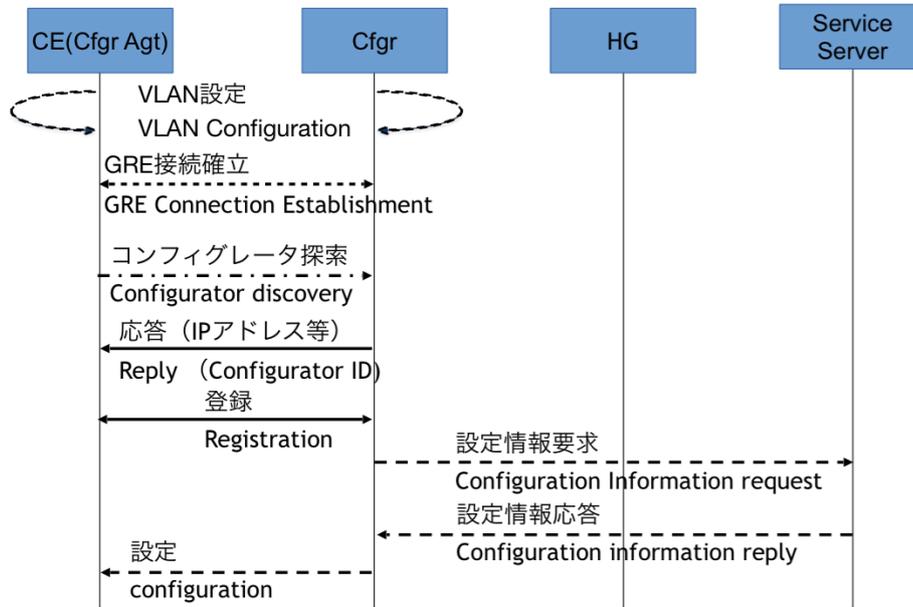
図 6.7: 1-1.A 新しい機器を設置 , クラウド使用 , PULL 型 (GRE&TagVLAN)

1 機器の設置、機器の移動

1-1 新しいCE機器をホームネットワークへ接続/CE機器の接続を変更

1-1.A 新しい機器を設置、クラウド使用、PULL型 (GRE & TagVLAN)

New device connection with cloud, pull-type



第7章 まとめ

近年，ネットワーク家電や Wi-Fi 接続のタブレットなどが一般家庭に普及し始めている．これに伴い家庭内のネットワーク機器が増加し，家庭内のネットワークに一般ユーザが自由に機器を追加するような状況となっている．家庭内ネットワークに接続される機器の数や種類が増加するにつれ，単純に一つのブロードキャストドメインとして接続するだけでは実現の難しい要求が出るようになってきた．HEMS においては，コントローラとエネルギー関連機器が家庭内の他のネットワーク機器とは直接 IP 接続できない独立したサブネットで接続されることがシステム構成上求められることが多い．HTIP においては，近年増えつつある Ethernet フレームを用いないプロトコルで接続された機器群で同様の機能を実現するためには IP 上で Ethernet フレームを伝送するしくみが必要となる．本稿ではこれら要求を実現する，ホームネットワークに望まれる性質を備えた仮想化技術の導入を行った．様々な仮想化技術について調査，検討を行い，導入コスト，普及率といった理由から，GRE，または GRE とタグ VLAN を組み合わせ形の導入が現段階で最も妥当であるとした．家庭内ネットワーク仮想化設計にあたり，ホームネットワークにおいて想定される接続構成例を作成し，GRE，及び GRE&TagVLAN の導入を行う際，ホームネットワーク内に存在する各機器に必要な設定を検討した．ネットワーク機器を遠隔から管理制御する使用例として作成されたユースケースについて，検討し更新を行った．さらに，更新したユースケースの中から仮想化技術導入の評価に使用するユースケースを選定した．HTIP を定義した JJ-300.00 の処理例に沿う形で GRE，GRE&TagVLAN の実装を行い，非 Ethernet の環境においても HTIP 機器間による LLDP フレームの送受信が可能となることを確認した．仮想化技術導入を行う際，ホームネットワーク内に存在する各機器が必要となる機能対応，各仮想化技術における設定の容易性，HTIP 実装機器 1 台における，LLDP パケットの送受信による帯域消費率を示した．また，選定したユースケースに対し，GRE，GRE&TagVLAN の導入を行った際の対応評価を行い，現在では対応できないユースケースを示し，対応するのに必要な機能を明らかにした．ホームネットワークにおいてもネットワーク仮想化の技術を導入することで，家庭内ネットワークに接続される機器の数や種類の増加により出た要求を，ネットワーク接続機器や配線を増加させずにローコストで実現することが可能である．

謝辞

本研究を行うにあたり，終始ご指導ご鞭撻を賜しました丹 康雄教授に深く感謝致します．
また審査員をお引き受け頂いた本学 篠田 陽一教授，本学 リム 勇仁准教授には，本論文を執筆するにあたり多大なご助言を頂きました．深く感謝致します．

副テーマにおいてご指導ご鞭撻を賜りました本学 上原 隆平教授，本学 大西 正輝客員准教授に感謝致します．

本論文をまとめるにあたりご協力頂いた丹研究室，リム研究室の諸兄に厚く御礼申し上げます．

最後に，私の研究に対し理解を示して頂き，支えて頂いた家族に感謝を致します．

参考文献

- [1] IEEE Computer Society: "802.1AB-2009: Local and Metropolitan Area Networks - Station and Media Access Control Connectivity Discovery", September 2009.
- [2] UPnP Device Architecture1.1, UPnP Forum, <http://upnp.org/specs/arch/UPnP-arch-DeviceArchitecture-v1.1.pdf>
- [3] JJ-300.00 ホーム NW 接続構成特定プロトコル, TTC 標準, http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-300.00v2.pdf
- [4] D. Farinacci, S. Hanks, et al: RFC 2784, "Generic Routing Encapsulation (GRE)", Internet Engineering Task Force (IETF), March 2000.
- [5] M. Mahalingam, et al: RFC 7348, "Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN)", Internet Engineering Task Force (IETF), August 2014.
- [6] J. Gross, et al: Internet-Draft, "Generic Network Virtualization Encapsulation", Work in Progress, Internet Engineering Task Force (IETF), January 2016.
- [7] TR-1043 ホームネットワーク通信インターフェース実装ガイドライン, TTC 技術レポート, http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/TR/TR-1043v4.1.pdf
- [8] 宮本 貴拓, 家庭内におけるネットワーク機器設定を想定した遠隔設定機構に関する研究, 北陸先端科学技術大学院大学, 2015.
- [9] JJ-300.10 ECHONET Lite 向けホームネットワーク通信インターフェース, TTC 標準, http://www.ttc.or.jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-300.10v2.1.pdf