修士論文

ホームネットワークの動的構成変更機構に関する研究

1710053　氏名 梶山　航

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　リム 勇仁　准教授
審査委員　篠田　陽一　教授
審査委員　Razvan Beuran 特任教授

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
(情報科学)

平成 31 年 2 月

abstract

In recent years, IoT (Internet of Things) has attracted attention, and various devices and services are also mixed in the home network.
In the past, the home network was mostly implemented as one broadcast domain, but in recent years, it is necessary to divide it into a plurality of segments for the purpose of preventing unnecessary operation by the user or complementing the security strength of the equipment Has occurred. It is also expected that more efficient use of the network will be possible if configuration changes can be made more proactively that can only communicate with specific devices triggered by services and device information as a trigger.
Dynamic configuration change is defined in this research as dynamically performing such segment division. In addition, dynamic configuration change which can only communicate with specific equipment triggered more actively by service or equipment information It is expected that it will be possible to use a more efficient network if it can do.
However, in the home network, there is a gap between the purpose of dynamic configuration change and the actual network configuration, it is difficult to dynamically change all things mechanically, so the knowledgeable end user In this research, we develop a system that assists dynamic configuration change on the assumption that the end user is responsible for dynamically changing the dynamic configuration of the network Aim to be
As a result, users are actively making dynamic configuration changes, greatly changing the way home networks were fixed in the past, and in terms of reliability, convenience, safety, etc. , superior to conventional It is possible to realize a home network.
In this research, we will visualize the device information, service information, topology information of the home network to assist users in dynamically changing the configuration, without having to directly configure the NW device by the user, We proposed an architecture that can dynamically change the configuration by performing various operations.
Sequentially showed that multiple primitives can be performed by this proposed architecture Finally, we verified the primitives against the customer support use case in the TR − 1062 home network service and showed the validity of the primitives.

概要

近年，IoT（Internet of Things）が注目を集めるようになり，ホームネットワークにおいても様々なデバイスやサービスが混在されるようになった．

従来ホームネットワークは一つのブロードキャストドメインで実装されることがほとんどであったが，近年，ユーザーの不用意な操作を防いだり，機器のセキュリティ強度を補完したりする目的で複数のセグメントに分割する必要が生じている．また，もっと積極的にサービスや機器情報などを契機として特定の機器の通信しかできないような構成変更が行えれば，より効率的なネットワークの利用が可能になるものと期待されている．

このようなセグメント分割を動的に行うことを本研究では動的構成変更と定義する．

現在のホームネットワークにおいて，動的構成変更を行う目的と実際のネットワークのコンフィグレーションにはギャップが存在しており，機械的に全てのことを動的構成変更するのは難しい．従ってネットワークにある程度知識のあるエンドユーザーが主体的に動的構成変更する必要がある． そこで本研究では，ホームネットワークの動的構成変更をエンドユーザーが主体的に行うということを想定した上で動的構成変更の手助けをするシステムを開発することを目的とする．

これにより，ユーザーが積極的に動的構成変更を行うようになり，従来は固定的であったホームネットワークのあり方を大きく変化させ，信頼性，利便性，安全性などの面で従来より優れたホームネットワークの実現が可能となる．

本研究ではユーザーの動的構成変更をする補助をするために，ホームネットワークのデバイス情報，サービス情報，トポロジー情報をビジュアライズすること，ユーザーが NW 機器のコンフィグを直接的にすることなく，GUI 上で基本的な操作（プリミティブ）を行うことで動的な構成変更ができるアーキテクチャを提案した．

この提案アーキテクチャによって複数のプリミティブが行えることをシーケンスで示し，その妥当性を検討し，最後にプリミティブを TR-1062 ホームネットワークサービスにおけるカスタマーサポートユースケースに対して検証を行いプリミティブの妥当性を示す．

.

目次

図目次

表目次

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，IoT（Internet of Things）が注目を集めるようになり，ホームネットワークにおいても様々なデバイスやサービスが混在されるようになった．図1に総務省，情報通信白書から引用した[1]世界の IoT デバイス数の推移及び今後の予想を示す．

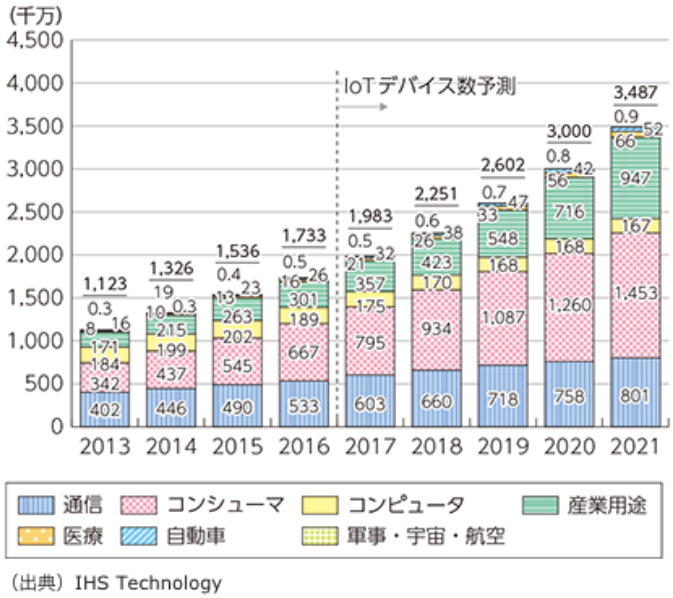

図 1　世界の IoT デバイス数の推移及び予測[1]

図1より世界の IoT デバイスは年々増加傾向であり，ホームネットワークを代表するコンシューマーの分野が 2013 年から 2021 年までに 4．25 倍増加すると予想されており，最も増加率が高いことが分かる．

このように今後，様々な IoT 機器の増加に伴い，それら機器に対応した多種多様なプロトコル，サービスもまた複雑化している．

従来ホームネットワークは一つのブロードキャストドメインで実装されることがほとんどであったが，近年，セキュリティの強度を保管したり，帯域を確保したりする目的で複数のセグメントに分割する必要が生じている．このようなセグメント分割を動的に行うことを本研究では動的構成変更と定義する．ま

た，もっと積極的にサービスや機器情報などを契機として特定の機器の通信しかできないような動的構成変更が行えればより効率的なネットワークの利用が可能になるものと期待されている．

しかしホームネットワークでは，動的構成変更を行う目的と実際のネットワークのコンフィグレーションにはギャップが存在し，機械的に全てのことを動的構成変更するのは難しい．従ってホームネットワークの知識のあるエンドユーザーが主体的に動的構成変更する必要がある．

1.2 研究目的

本研究では，ネットワークの動的構成変更をエンドユーザーが主体的に行うということを想定した上で動的構成変更の手助けをするシステムを開発することを目的とする

これにより，ユーザーが積極的に動的構成変更を行うようになり，従来は固定的であったホームネットワークのあり方を大きく変化させ，信頼性，利便性，安全性などの面で従来より優れたホームネットワークの実現が可能となる．

1.3 論文構成

本論文の構成は以下の通りになっている．

- 第１章
  - 本研究の背景と目的，本論文の構成を示す．

- 第２章
  -本研究で提案するシステムに関連する技術について述べる

- 第３章
  -ホームネットワークにおける動的構成変更機構について述べる

- 第４章
  -提案手法とシステムのアーキテクチャに関して述べる

- 第５章
  -提案するプリミティブに関して述べる

- 第 6 章
  -プリミティブの妥当性に関して述べる

- 第 7 章
  -まとめに関して述べる

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 管理運用技術

ホームネットワークにおいて動的に再構成するためには，家電などのエンドデバイス，ネットワーク機器（以下 NW 機器）の情報を取得，設定を変更する管理運用技術を使用することが必要である．この節では代表的なネットワーク管理運用技術について説明する．

● LLDP

LLDP はデータリンク層の隣り合ったリンクを検出，機器の情報を管理するプロトコルで IEEE802．1ab で標準化されている．LLDP 対応機器は一定間隔（802．1ab 規格では 30 秒を推奨）で自身の管理情報をマルチキャストする．LLDP は隣接する機器間でのみやり取りが行われ，L2 スイッチやルーターなどを超えることはない．LLDP で取り扱う情報は表 1 に示す．タイプ(TLV タイプ)は各項目を識別する番号となり，LLDP は他の管理情報を追加することができる．管理情報は表 2 の基本項目と表拡張項目で構成されており，HTIP ではこの拡張項目を利用している．

表 1:LLDP の基本項目一覧

項目（必須）	用途
Chassis ID	機器の識別情報（Mac アドレス等）
Port ID	機器が LLDP を送信したインターフェース情報
Time To Live	情報の有効期限
項目（オプション）	用途
Port Description	インターフェースの概要
System Name	システム名

System Description	機器の名称やバージョン
System Capabilities	機器の種別
Management Address	管理アドレス

表 2:LLDP の拡張項目一覧

項目（IEEE802．3 関連項目）	用途
MAC/PHY Configuration Status	オート・ネゴシエーションのサポート利用状況 使用しているインタフェースの種類等
Power Via MDI	PoE(Power over Ethernet)などの電源供給に対する サポート/利用状況，ポートの給電クラス等
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
項目（オプション）	用途
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 名と，それに割当てられた ID
Protocol Identity	利用可能なプロトコル

- UpnP(Universal Plug and Play)

UPnP(Universal Plug and Play)[2]は，UPnP フォーラムが定めたデバイスを接続時にホームネットワークに参加させることを目的としたプロトコルの郡である．また，Zeroconfig と呼ばれる中の一つのプロトコル郡である．UPnP は下　位層に相当する UPnP Device Architecture(UPnP DA)と，上位層に相当す

る UPnP Device Control Protocol(UPnP DCP)に分けられそれぞれに仕様がある．
UPnP DA の仕様は，Addressing，Discovery，Description，Control，Eventing，Presentation で構成される．
UPnP DA の仕様を表 3 に示す．UPnP では，ネットワークに接続されたデバイスと，そのデバイスに対して制御する機構であるコントロール・ポイントが定義されている．
HTIP では，Description においてデバイス内容が XML 形式で記述されている Device Description Document(DDD)中の拡張に新規エレメントを設けることで拡張を行う．

表 3：UPnP DA の仕様

機能	機能概要
Addressing	DHCP を使用して IP アドレスを取得する
Discovery	SSDP を使用してネットワーク上のデバイスを検出する
Description	デバイスが提供できる機能や情報を記述した二種類の XML のデータである．デバイス自身が持つサービスなどに関する情報と各サービスに対応するアクションに分けられる
Control	サービスの機能を呼び出すこととデバイスの状態変数を問い合わせる
Eventing	デバイスの状態変数を指定して監視要求をおこなうと，その状態変数の値が変わるとイベントが通知される．
Presentation	デバイスの状態確認や制御をウェブブラウザからできる

- HTIP(ITU-T G．9973)

HTIP（Home-Network Topology Identify Protocol）[3]は，ホームネットワークのトポロジを検出するための情報を収集する目的として情報通信技術委員会の JJ300．00 で標準化されている．リンクレイヤブロードキャストドメインにおいてのみ有効に動作する．HTIP は Manager と Agent によって構成され，接続される HTIP-エンド端末には UPnP Device Architecture の Controlled

Device が実装(L3Agent)，または LLDP Agent(Transmit only)が実装(L2Agent)され，HTIP-NW 機器には LLDP Agent(L2Agent)が実装されている必要がある．Manager が各 Agent から機器情報及び接続構成情報を収集することでホームネットワークのトポロジを検出する．

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を想定している．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)の四つの情報から構成される．

(a)区分
機器の種別を表し，例えば”TV”や”PC”等の種別を表す値．
JJ-300．01 で定義される

(b)メーカーコード
機器を製造した会社名を表す値．これは，IEEE に登録されたカンパニ ID(OUI コード)で記述．

(c)機種名
メーカ毎に付与される機器のブランド名やシリーズ名を表す値．
ASCII　文字使用可能

(d)型番
メーカ毎に付与される機器の型番

その他に，障害発生箇所の切り分けに有用な情報として，チャネル使用状態情報，電波強度情報，ステータス情報等を通知することが可能である．
L2Agent では LLDPDU フレームとして伝送される．LLDPDU のフォーマットを図 2 に示す．LLDPDU で伝送される情報は，機器情報と接続構成情報の 2 種類が存在する．

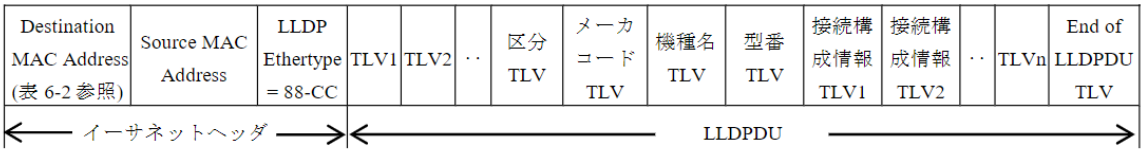

図 2：LLDPDU のフレームフォーマット

● ECHONET　Lite

ECHONET Lite はエコーネットコンソーシアムが策定した HEMS 標準の通信プロトコルであり，各機器に対する細やかな制御，情報収集を「クラス」と「プロパティ」という概念によって実現されている．
役割によって「デバイス」と「コントローラ」に大別される．

● SNMP

SNMP(Simple Network Management Protocol)[4]は，IP ネットワーク上の機器を監視・制御するためのアプリケーション層のプロトコルである．SNMP の構成図を図 3 に示す．
SNMP は管理する側の Manager，管理される側の Agent によって構成される．
Manager と Agent は MIB[5]と呼ばれる IP，ICMP，TCP，UDP などの異なるレイヤーに対して情報を持っており，その情報を SNMP パケットを使用してやり取りすることによって多岐の目的に応じた監視制御を行うことができる．

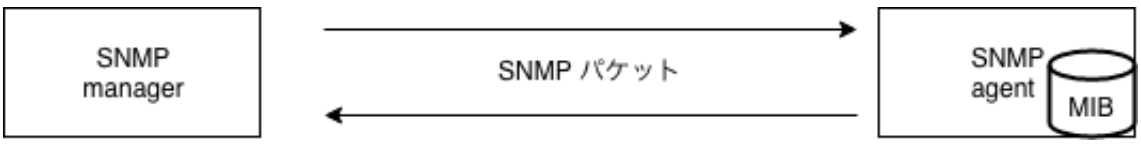

図 3：SNMP の構成

● CLI（コマンドラインインターフェース）

管理運用情報を取得するために Telnet や SSH を使用して直接 NW 機器などからメッセージを取得する．機器によってコマンドの形態や情報の表現が異なり

それらを普段解釈するのは人間であるので機械間でやり取りをするためには機器それぞれに対応した文字解析やテンプレートが必要である．

- Openflow

Openflow[6]は，ネットワークをソフトウェアで制御しようとするSDN（Software Defined Network）と呼ばれるコンセプトの実装手段の一つである．

一般的なネットワーク機器とは異なり，ネットワーク上でデータを適切に送るための経路制御など，複雑な計算を行う制御部（スイッチ）とフレーム転送など単純な計算を行う転送部（コントローラ）を分離したアーキテクチャを使用している．コントローラはソフトウェアで行う．スイッチはコントローラーからopenflowプロトコルを使用して記述された，フローテーブルを所持する．

フローテーブルはパケットに対してどういった処理をするかのルールが記述されており，柔軟なネットワークを構築することができる．

表4にフローテーブルの要素を示す．

表 4：フローテーブルの要素

	Match Field	Priority	Counters	Instruction	Timeouts	Cookie
フローエントリ	フローエントリがどのようなフローかを識別する	優先度の高いフローエントリから適用される．	マッチしたパケットに関する統計情報	Match Fieldにマッチしたフレームに対して行う処理	保持時間で，この時間を過ぎるとフローエントリが削除される．	コントローラが使用する情報

第3章 ホームネットワークにおける動的構成変更機構

本章では，近年のホームネットワークの環境とホームネットワークにおける動的に再構成を行うことの目的，方法論，関連研究について記述する．

3.1 ホームネットワークの環境

エンタープライズのネットワークと比較して，ホームネットワークでは PC，ネットワーク機器だけではなくゲーム機，プリンター，テレビ，スマートフォン，タブレット，スマートスピーカーなど多岐にわたる．また，通信プロトコルに関しても電力線，Wifi，ZigBee など多岐に渡る．このような要因により非常に複雑で管理が難しい環境となっている． 図 4 に現在のホームネットワークの一例を示す．

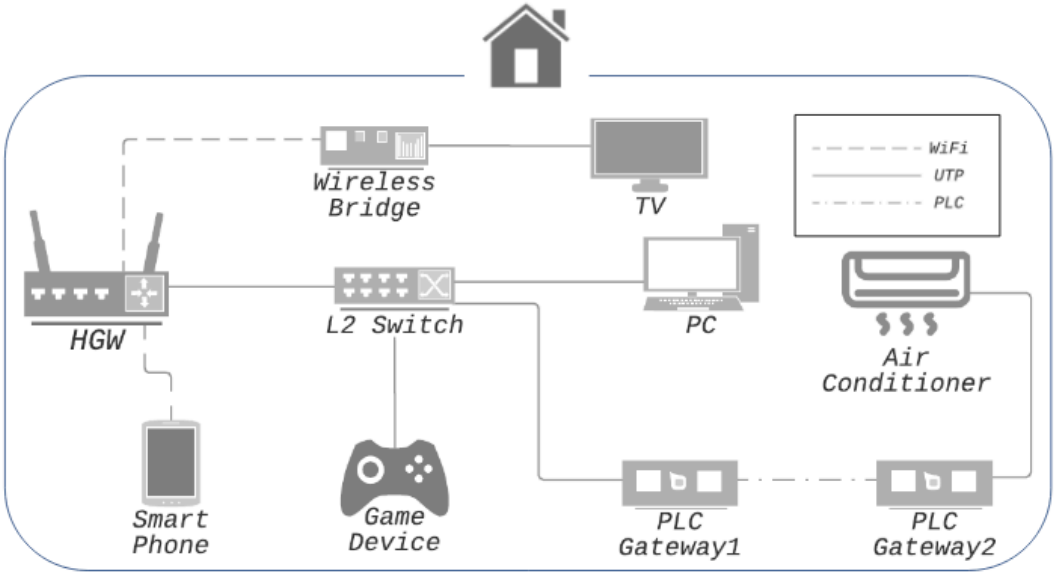

図 4：ホームネットワークの一例

この例では電力線である PLC やワイヤレス通信の Wifi が利用されていたり，エアコンは HEMS サービスによって制御されている．
また TV や GameDevice は PC やスマートフォンから長時間の動画を DLNA サービスを用いて視聴することができる．

3.2 動的再構成のシナリオ

ホームネットワークの機器の増加に比例してホームネットワークにおけるアプリケーションあるいはサービスは，DLNA のように娯楽を目的としユーザーがより便利に利用できるものから，HEMS 関連機器のように省エネルギーや機器の操作，機器情報のビジュアライズを目的としたもの，情報家電のファームウェアのアップデートなどのセキュリティ目的のものまで非常に多くのものが存在する．

このような状況下において動的にホームネットワークの再構成を行うことが重要と考える．

再構成を行うために，単純に通信経路の変更を行うことや，NW 機器の物理ポートをブロックしエンドデバイスをホームネットワークから切断することだけではなく，再構成の一つの手段として特に同じグループに属するものは互いに通信ができ異なるグループに属するものは通信できないといったグループ（以降スライスと呼ぶ）を生成することが必要があると考える．そしてスライスを

サービスや機器の種類によって自動的に生成することが動的再構成を行う中で特に重要であると考えられる．

Yiakoumis[8]らはホームネットワーク上にスライスを配置することを提案している．目的はデバイスを制限し，セキュリティを向上させることと帯域制御を行うことである．

著者はそれらの目的をとユーザーが思い描くシナリオと具体的に定義し，セキュリティと帯域の詳細なシナリオとシナリオ例を提示する．

- セキュリティ関係

セキュリティ的に問題のあるデバイスなどネットワークにつながらないように隔離スライスを生成する．隔離のシナリオとして以下の 3 パターン提示する．

1．**設置時の意図的な隔離**

ホームネットワークでは小さなセンサや電気コンセントなど計算能力が非常に低いデバイスが存在する．またそのような機器はインターネットに接続する必要のないものが多い．そのような機器をホームゲートウェイの裏側に回し直接インターネットに接続できないようにする必要性があると考えられる．

シナリオ例：ユーザーが HEMS 対応センサを設置時にゲートウェイの後ろのセグメントに配置する

2．　**後にセキュリティ的な問題があった場合の隔離**

ホームネットワークで家庭という特殊な性質であるため，一度買ったデバイスは買い替えるのに時間がかかる．例えば，冷蔵庫や洗濯機などの白物家電がこれに該当する．そのためアップデートされないまま放置される事が多い．初めはセキュリティ的に問題が無かったが，後に脆弱性が発見されたとする．その場合，隔離する必要性が生じ，ネットワークに見えないようにするとともに最低限サービスができるようにする．

シナリオ例:古くなったネットワーク対応冷蔵庫をインターネットを接続するアプリケーションを使用せずに家の中だけ冷蔵庫の中身を表示するアプリケーションのみ使用したい

3. **監視するための隔離**

異常なデバイスを検疫ネットワークスライス上に移動させることで監視と対処を行う．単にブロックしただけでは，攻撃者に対処したことをすぐに察知されてしまう．したがって検疫ネットワークスライス上に移動させる必要がある．

- **帯域関係**

大容量かつ通信帯域が重要になるものに対して帯域を確保ことで快適に視聴できるようにする．

シナリオ例:DLNA サービスを用いて，テレビなどのデバイスで映画を視聴する際に QoS の設定を行う．

- **ホームネットワークへの接続関係**

ホームネットワークへの接続が非常に危険と判断されたデバイスを NW 機器の物理ポートをブロックして遮断する

シナリオ例:リコール対象機器ではあるが，その機器を家電としてのみ使用したい

3.3 ネットワークを再構成する方法

従来のネットワークでは，ネットワークを仮想化するためには CLI のように物理的な操作によって転送機器に設定を入れることで VLAN を構築しなければならなかった．また，NW 機器ベンダー毎に操作が異なることから規模拡張性や信頼性の観点から課題があると考えられる．

一方近年ソフトウェアによりネットワーク機器を集中的に制御して，ネットワークの構成や設定などを柔軟に設定しようというコンセプトの SDN（Software Defined Network）は，プログラムによってネットワーク全体の転

送機器での設定を柔軟に変更できるため，規模拡張性や信頼性を伴ったネットワークを仮想化することができる．従って本研究の動的構成変更機構では SDN をベースにして設計を行う．SDN を実現する技術として Openflow が存在する．

3.4 スコープ

本研究では，IP，Ethernet，かつ，一つのリンクレイヤーブロードキャストドメインを研究の対象とする．図 5 に示すように HGW 配下のホームネットワークを対象とし，エンタープライズネットワーク， L3 スイッチや GW で分断された別の IP ネットワークは非対象とする．

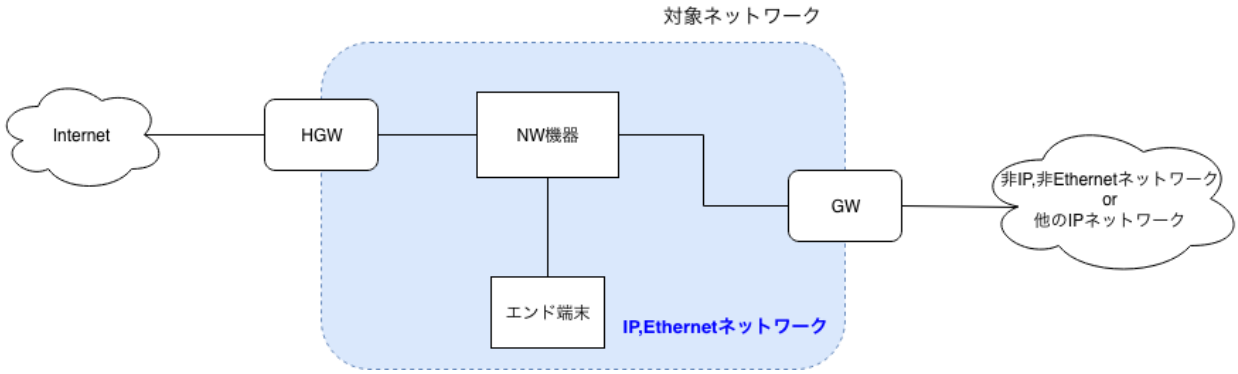

図 5：対象ネットワーク

3.5 ホームネットワークの管理に対する関連研究

この節ではホームネットワークの管理運用技術に関する研究についての先行研究について述べる．

- **ホームネットワークにおける管理運用技術に関する研究**

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の宮本[7]によりホームネットワークを対象として遠隔から機器を設定可能な遠隔設定機構の提案された.
この提案では TR-1062 に準ずる形で設計され遠隔設定機構内で保持するデータについて XML 形式で記述されている．そして設計した遠隔設定機構がどのような振る舞いをするのかを情報家電の設置や移動，サービス起動時，トラブルシューティング時，と 3 つの段階に分けており，段階毎にユースケースを作成している．本研究の動的構成変更機構は遠隔設定機構が保持する情報とこのユースケースを参考にしている.

家庭内における管理運用情報統合に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学の北村[8]によりホームネットワークを対象として
複数の管理運用技術により収集された管理運用情報を統合して扱うことのできる情報統合管理技術の開発を目的としている.
デバイス情報の内容や形式の差異を各情報を属性について抽象化させることで問題を解決している．本研究において DB に保存する機構に関して参考にしている.

ホームネットワークにおけるトポロジ情報の記述に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学の藤巻[9]によりホームネットワークに接続された各機器の管理運用情報からトポロジー情報を取得するアルゴリズムとネットワーク記述モデルが提案されている.
その後，トポロジー情報を記述する手法について議論を行なっている
またこのアルゴリズムでは一つのブロードキャストドメインのみに対応でき，近年ホームネットワークにおいて普及しつつある Zigbee や bluetooth に対応できないなどといった課題点があるが HTIP に対応するにあたって有効であることが示されている．本研究において，トポロジーを使用する際にあたって FDB から取得するアルゴリズムを参考にした.

第4章 提案手法

この章ではホームネットワークの知識のあるユーザに対してネットワークの構成変更することの手助けする動的構成変更機構について述べる．
設計をする際，ネットワークの知識のあるユーザーに対してどういった形で手助けするのかといった問題点がある．本論文では図 6 に示すように以下 2 つの点でユーザーを補助する方法を提案する．また，情報収集部に独立性を持たせることによって今後の新しい技術に対する拡張性や外部サービスとの連携も考慮している．以降本アーキテクチャで動的構成変更するためにできること（スライスを作成するなど）をプリミティブと呼ぶ．

1. デバイス情報とサービス情報とトポロジー情報を GUI 上でグラフィカルに表示することでホームネットワークの現状を分かりやすくし，ユーザーのシナリオの作成を補助する．
2. ユーザーはプリミティブを決めることにより実際の詳細な NW 機器のコンフィグレーションなどをブラックボックス化した上で動的再構成を実現する．

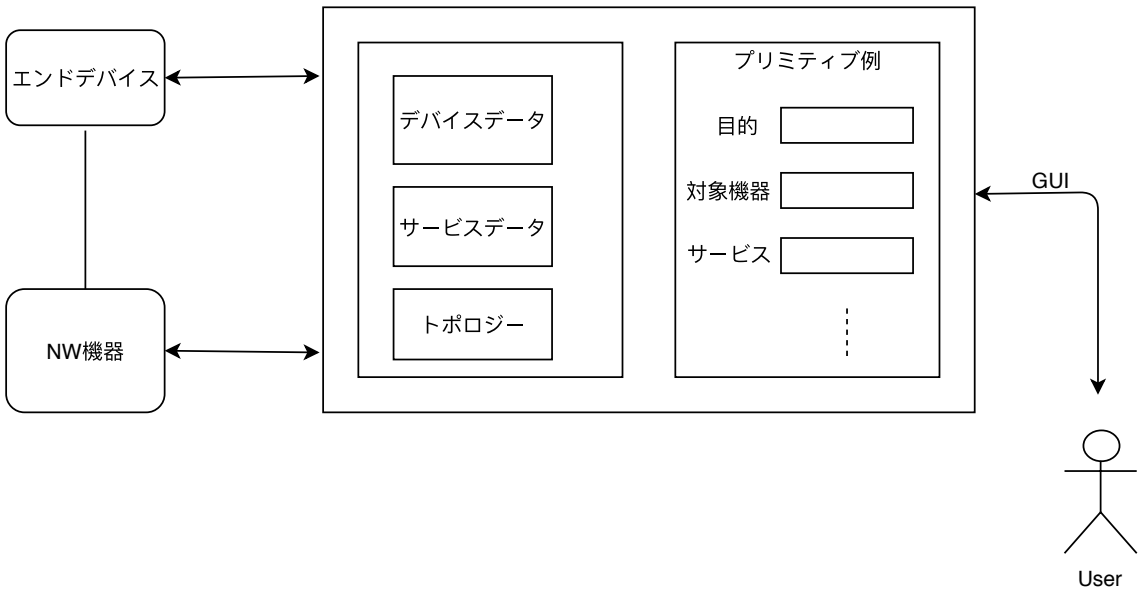

図 6：提案手法の概要図

提案アーキテクチャを図 6 に示す.

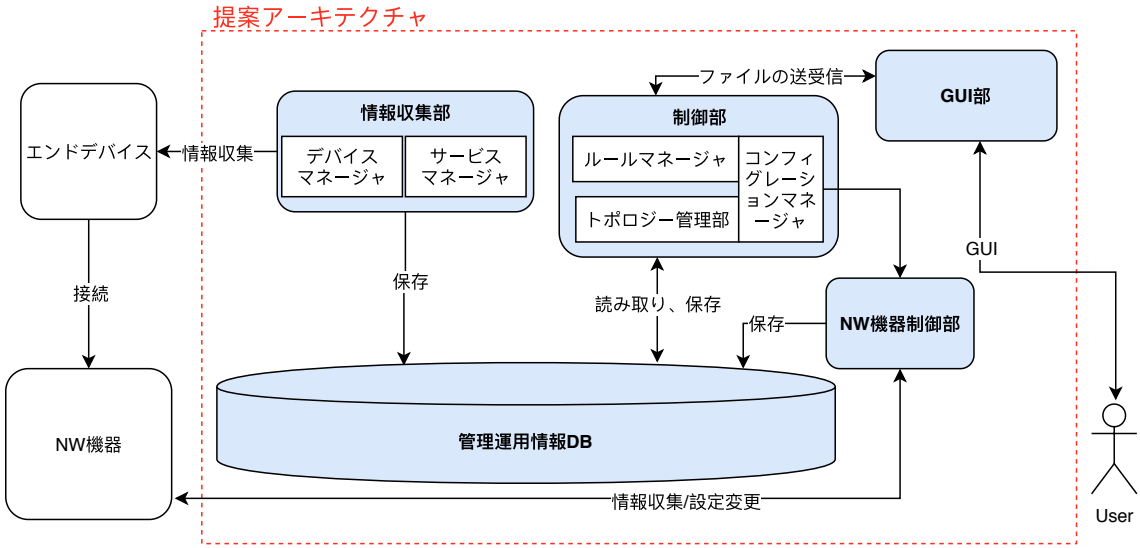

図 7：提案アーキテクチャ

4.1 提案アーキテクチャのコンポーネント

この節では提案アーキテクチャのコンポーネントの詳細について述べる.

4.1.1 情報収集部

- デバイスマネージャ

デバイスマネージャはホームネットワークで使用されているデバイスの主に NW 情報を取得し，取得した情報を変換し管理運用情報 DB に渡す．情報を取得する代表のプロトコルとして HTIP，SNMP，LLDP などが該当する.

- サービスマネージャ

サービスマネージャはホームネットワークで使用されている情報家電のサービス情報を取得する．代表として DLNA，HEMS コントローラなどが該当する.

デバイスマネージャー同様にプロトコル毎に対して，サービスの取得情報を変換する機能が必須となる．Upnp（DLNA）や ECHONETLITE などが対応する．

- 管理運用情報 DB

管理運用情報 DB は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[9]，　家庭内ネットワークにおける管理運用情報統合に関する研究[10]に準ずる形で設計を行った．

DB は情報家電，NW 機器とは別に作成される．DB の書き出し/読み出しはサービスマネージャー，デバイスマネージャー，トポロジーマネージャー，シナリオマネージャーが行う．

ホームネットワーク内で利用されるプロトコルは数多く存在し，プロトコル・機器によっては異なる要求要件がある．プロトコル・機器には様々な物理・データリンク技術が用いられ，それぞれが固有の管理運用情報を取り扱う．したがって，属性的には同じ情報を取り扱う場合であってもその具体的な情報の値は，用いられる管理運用技術によって収集可能な情報や形式の差異が存在することになる．異なる管理運用技術を有するプロトコルを用いる機器から管理運用情報を収集し，一元的に管理するためには，属性的に同じ情報を抽象的に定める必要がある．一元管理に必要な情報をエンドデバイスに対して図８，NW 機器に対して図９のように定める．

エンドデバイス，NW 機器ともに MAC アドレスのようなインターフェース毎に固有なアドレスと，IP アドレスのような論理アドレスは必須情報とする．デバイス情報では製造情報をオプションとし，機器の製造区分，製造者，機種名，製造コードを扱い HTIP との対応を図っている．現在の設定状況をユーザーが認識するために，エンドデバイス DB，NW 機器 DB 共に設定状況を記述した設定記述ファイルが必須項目として存在する．トポロジー情報を取得するために NW 機器 DB には FDB（フォワーディングテーブル）の情報を必須とした．

- エンドデバイス DB

エンドデバイス

デバイス情報		
インターフェース情報	ネットワーク情報	製造情報
MACアドレス IPアドレス	プロトコル ネットワーク識別子	機器区分　機種名 製造者　製品コード
サービス情報		
動作サービス一覧		
動作シナリオ情報		
設定記述ファイル		

図 8：エンドデバイス DB

- NW 機器 DB

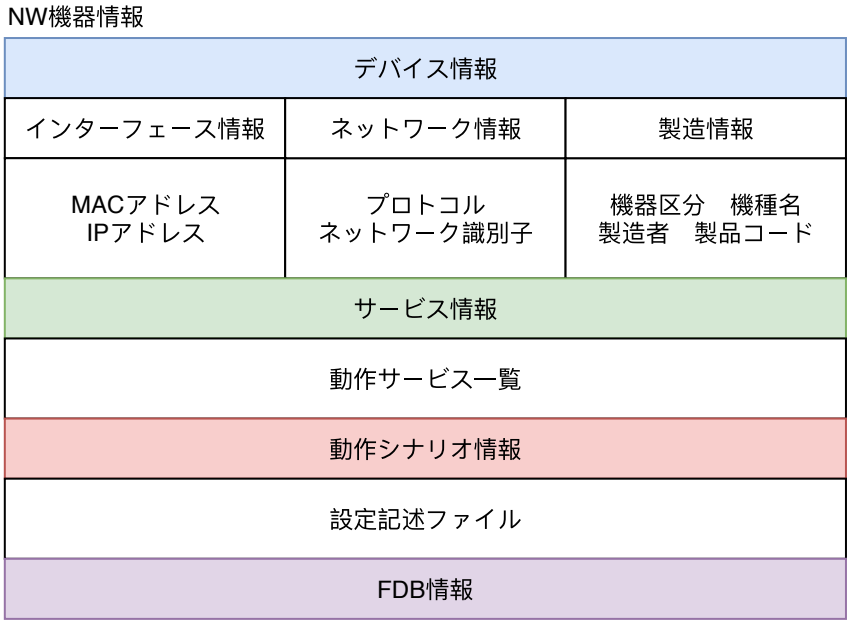

図 9：NW 機器 DB

次に，エンドデバイスを設置して NW 機器に接続した際の情報収集のシーケンスを図１０に示す.

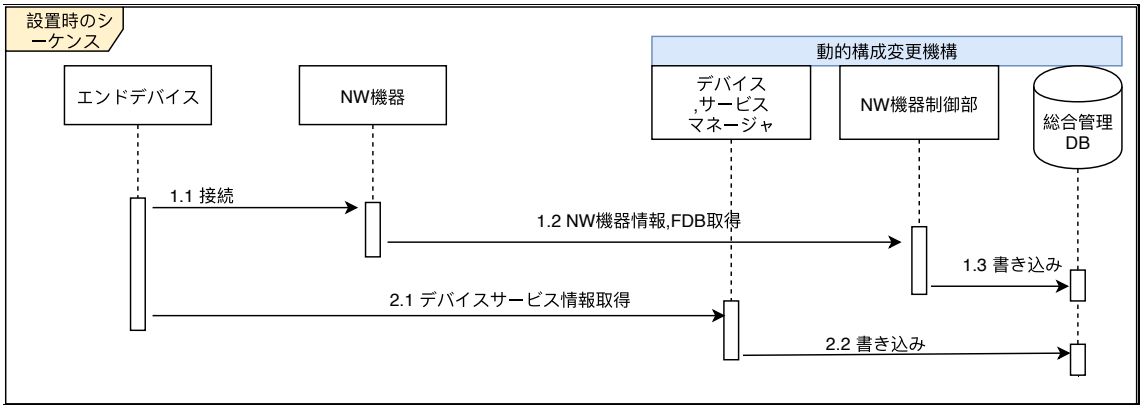

図 10：情報収集設置時のシーケンス

アクター

・エンドデバイス…情報家電などのデバイス
・NW 機器…L2 スイッチ
・デバイス，サービスマネージャ…デバイスやサービスを管理する
・NW 機器制御部…NW 機器を管理するソフトウェア
・管理運用情報 DB…エンドデバイスやサービス情報を保存する

シーケンス
1．1 エンドデバイス設置時に NW 機器に接続する
1．2 NW 機器の情報と FDB を取得し NW 機器制御部に送信する
1．3 総合データベースに書き込む
2．1 デバイスやサービス情報を取得する
2．2 デバイスやサービス情報をデータベースに書き込む

4.1.2 GUI 部

GUI 部は制御部からホームネットワーク内の指定したデバイス情報とサービス情報，トポロジー情報を取得し，表示させる．
次にユーザーが選択した情報を元に設定ファイルを記述し，XML などのデータフォーマットを使用した設定ファイルを作成する．
ユーザーは目的，スライス名，スライス対象デバイス，スライス対象サービス，QoS の優先度を指定したテンプレートに記述もしくは GUI 上で選択していくことでデータフォーマットに沿った設定ファイルが自動生成される．

XML で記述した設定ファイルテンプレート例

```
＜primirive＞add</primitive>
<slicename>slice A</slicename>
<targetdevice></targetdevice>
<TargetserviceType>HEMS</TargetserviceType>
<QoSpriority></QoSpriority>
<time>
    <activeTimeStart></activeTimeStart>
    <activeTimeEnd></activeTimeEnd>
    <activeday><activeday>
</time>
```

シナリオ記述時のシーケンスを図 11 に示す．

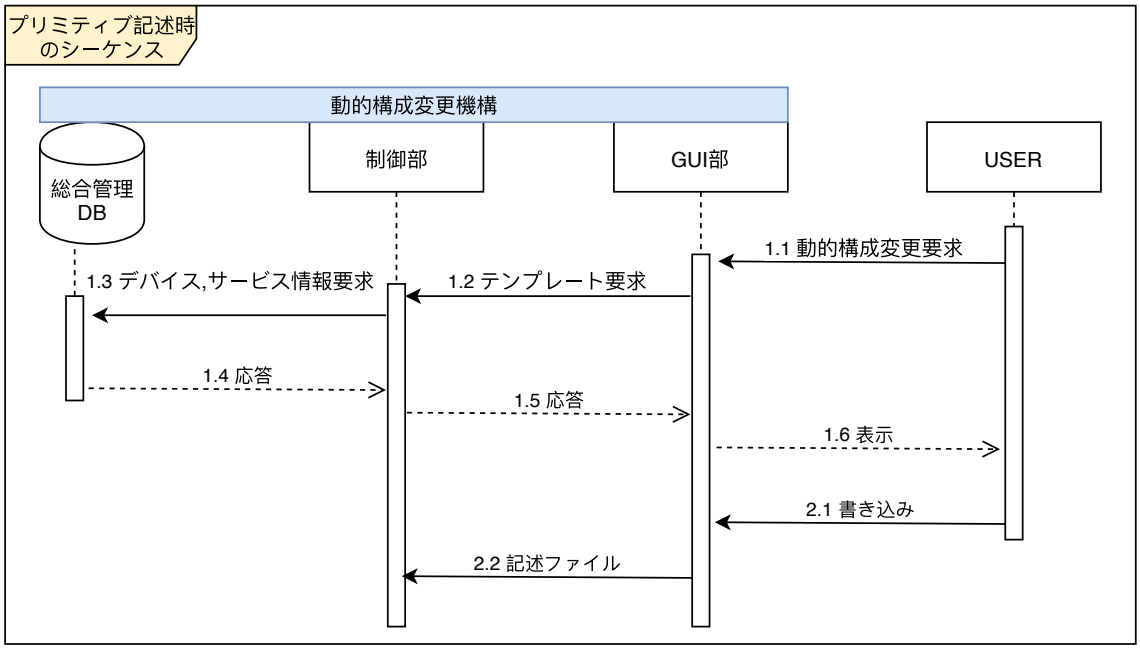

図 11：プリミティブ記述時のシーケンス

アクター

・User…動的構成変更を行いたい知識のあるユーザー

・GUI 部…デバイスやサービスを管理する

・制御部…NW 機器を管理するソフトウェア

・管理運用情報 DB…エンドデバイスやサービス情報を保存する

シーケンス

1．1 ユーザーは UI を通して動的構成変更の要求を行う

1．2GUI は制御部にテンプレートの要求を行う

1．3 デバイス，サービス情報を DB に要求する

1．4DB は制御部に全てのデバイス，サービス情報を送信する．その後トポロジーの作成を行う

1．5 制御部はデバイス，サービス情報，トポロジー情報を GUI 部に送信する

1．6User にデバイス，サービス情報，トポロジー情報を表示する．

2．1User は GUI に書き込みする

2．2GUI 部は制御部に記述ファイルに送信する．

4.1.3 制御部

- ルールジェネレータ

シナリオ部から受信したデータフォーマットをルールに変換する．
このルールは，有効期限の間 トポロジーマネージャ内で保存され，このルールを参照して，その後の処理と NW 機器制御部に対する命令をする。

- トポロジーマネージャ

機器管理情報からトポロジー情報を取得することとデバイス間のパスを取得することを目的とする．
また，トポロジーDB が内蔵されており現在のトポロジー情報を記述する．
トポロジー検出方法として，LLDP や FDB から求めるアルゴリズムがある．
本アーキテクチャは最も基本的な L2 スイッチを対象とするため FDB からトポロジーを求める方法を推奨する．NW トポロジーを求めるアルゴリズムはトポロジ情報の記述に関する研究[11]を参考にした．
トポロジー検出アルゴリズムを以下に示す．
ここでは，ある NW 機器が別 NW 機器に直接 1 つの物理線で接続されていることを「直接接続」，2 本以上の物理線で接続されることを「接続」とする。
藤巻らは，以下 3 つの条件式を用いてトポロジ検出が可能としている．

1. 条件[1]から唯一に決まるポートを選択し，直接接続を決定する．
2. 1 の結果について条件[2]を適用する．
3. 2，3 の結果から同一ポートに接続される他の NW 機器は直接接続でない

[1] $C_{ip} = \{j\} \Rightarrow D_{ip} = j$
[2] $(D_{ip} = j) \wedge (C_{jq} \ni i) \Rightarrow D_{jq} = i$
[3] $(C_{ip} \ni j) \wedge (C_{jq} \ni i) \wedge (C_{ip} \cap C_{jq}) \neq \rho \Rightarrow D_{ip} \neq j$
ただし，

- C_{ip}は，NW 機器 i のポート p に接続されている NW 機器の集合
- D_{ip}は，NW 機器 i のポート p に直接接続されている NW 機器の集合

トポロジー検出アルゴリズム[11]

また，複数の NW 機器間で接続する場合，条件 1， 2 だけでは検出できないことがある．その場合，条件 3 を用いることで，直接接続を検出できる．

動的構成変更機構において，あるデバイス間を同じスライスに設定するためにはデバイス間のパスを求め，パス上にある NW 機器，物理ポート番号を求める必要がある．
また，スライス実行後にネットワーク仮想化を踏まえたトポロジー情報を記述する．ダイクストラ法などの最短パスを求めるアルゴリズムを使用する．

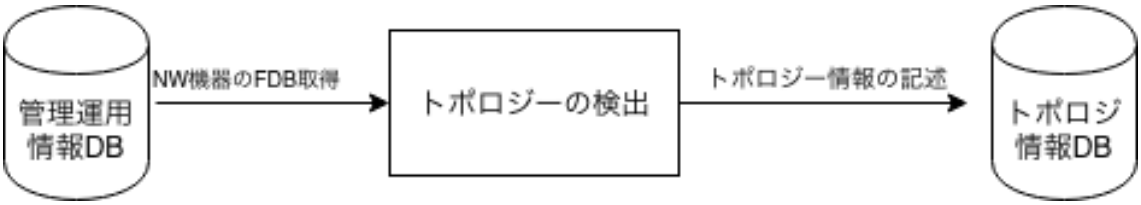

図 12：トポロジーの取得

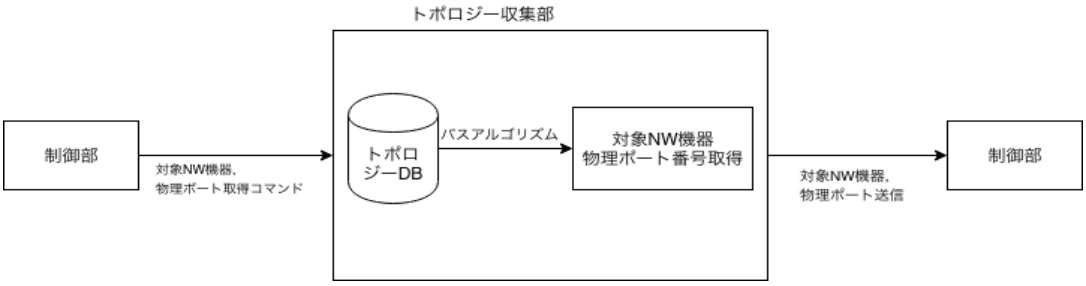

図 13：パスの取得

4.1.4 NW 制御部

実際に NW 機器のコンフィグを行う機能である．
コンフィグマネージャから対象の NW 機器の管理アドレス，対象ポート番号と Mac address を指定される．NW 機器は実際の機器に適した形に設定コマンドを生成し NW 機器のコンフィグを行う．

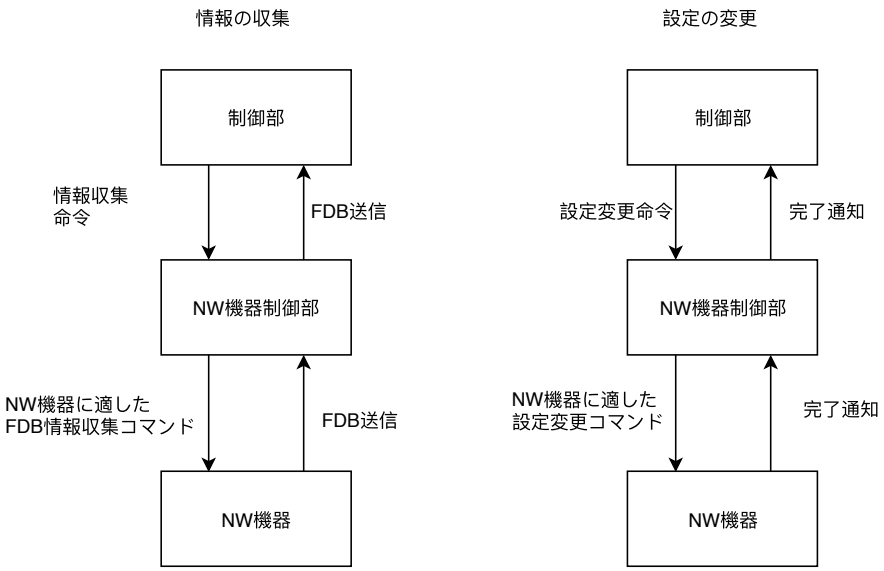

図 14：NW 制御部の動作

第5章 プリミティブの提案

本章では提案アーキテクチャでユーザーが操作するプリミティブを提案する

1. スライス作成…スライスの作成
2. スライス削除…スライスの削除
3. スライス条件追加…ある条件に合致したデバイスをスライスに追加
4. スライス条件削除…ある条件に合致したデバイスをスライスから削除
5. スライス QoS…指定したスライスに QoS の設定をする
6. ネットワーク切断…ある条件のデバイスをネットワークから完全に遮断する
7. ネットワーク復帰…遮断したデバイスをネットワークに復帰させる

ある条件はサービス名，デバイス名とする．

プリミティブ毎のシーケンスにより提案アーキテクチャからプリミティブが動作できることを示す．本章でのアクターは全て同じであり，以下に示す．

アクター
・GUI 部…デバイスやサービスを管理する
・制御部…ルールジェネレータ，トポロジー，コンフィグレーションマネージャを管理する
・ルールジェネレータ…記述ファイルからルールを作成する
・トポロジー管理部…ルールを保存しており，ルールをマッチングする．またトポロジーを取得，パスを求める
・コンフィグレーションマネージャ…NW 機器部と連携を行う
・管理運用情報 DB…エンドデバイスやサービス情報を保存する
・NW 機器部…ネットワーク機器に即したコマンドを発行する

5.1 スライス作成

スライス作成時のシーケンスを図１５に示す．

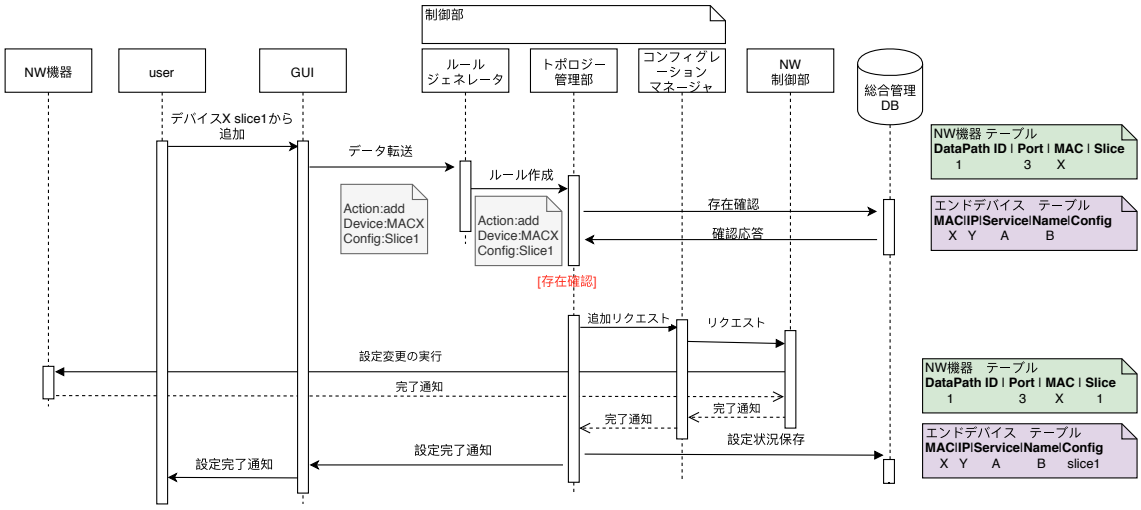

図 15：スライス作成のシーケンス

5.2 スライス削除

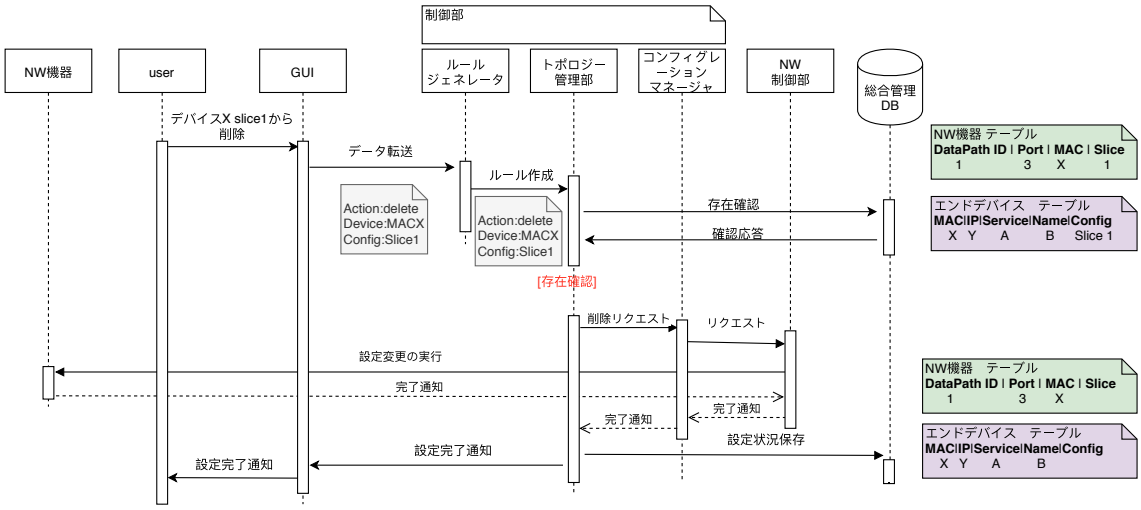

図 16：スライス削除のシーケンス

5.3 スライス条件追加

前提:既に Slice1 を作成済み

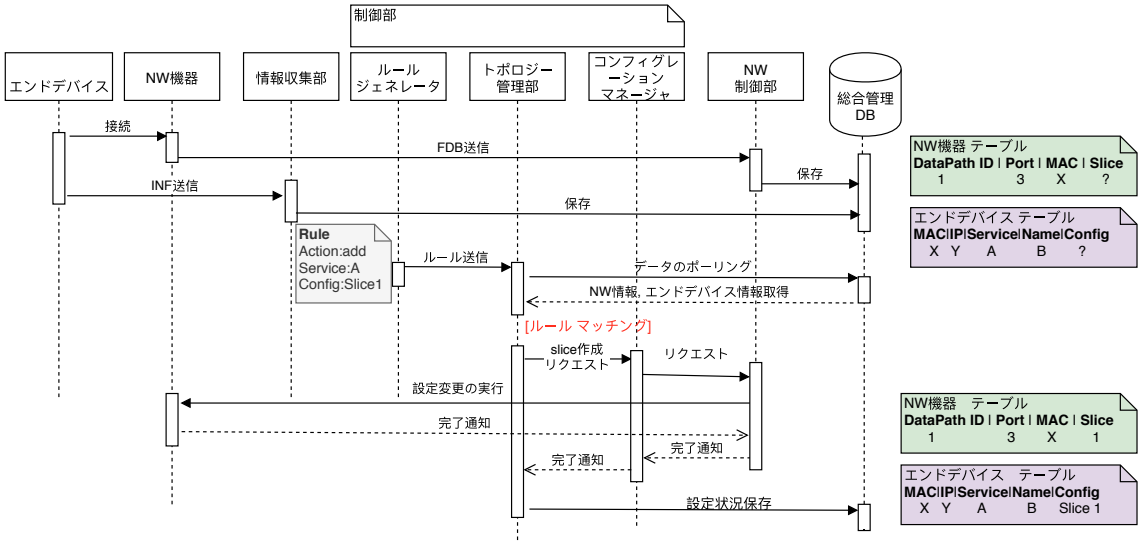

図 17：スライス条件追加のシーケンス

5.4 スライス条件削除

前提:既に Slice1 を作成済みスライスに対象デバイスが含まれている

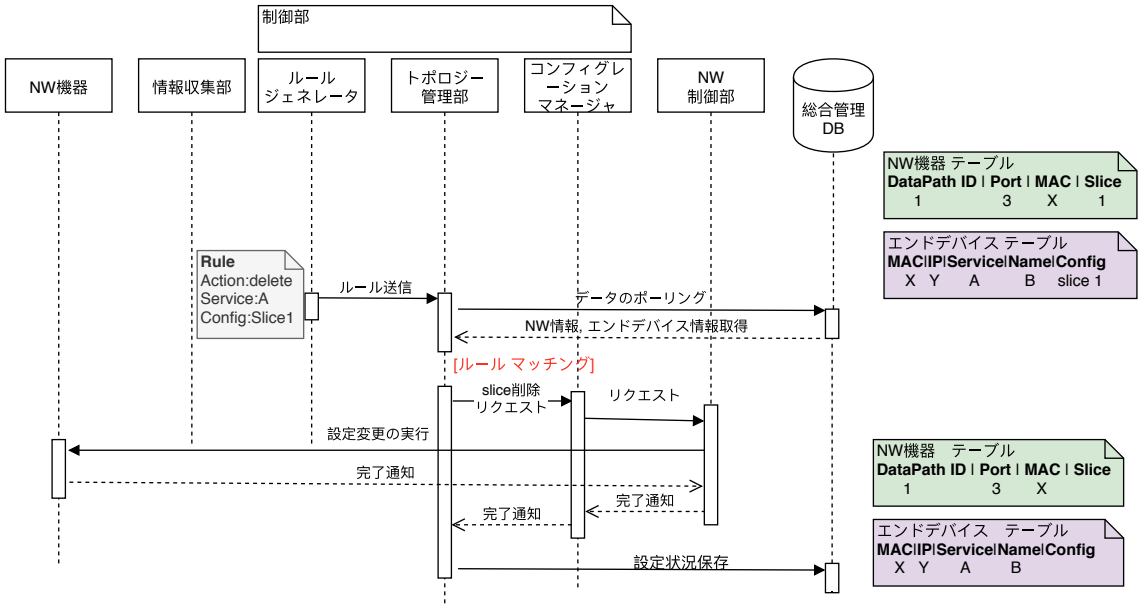

図 18：スライス条件削除のシーケンス

5.5 スライス QoS

前提：既にスライス 1 が作成されている

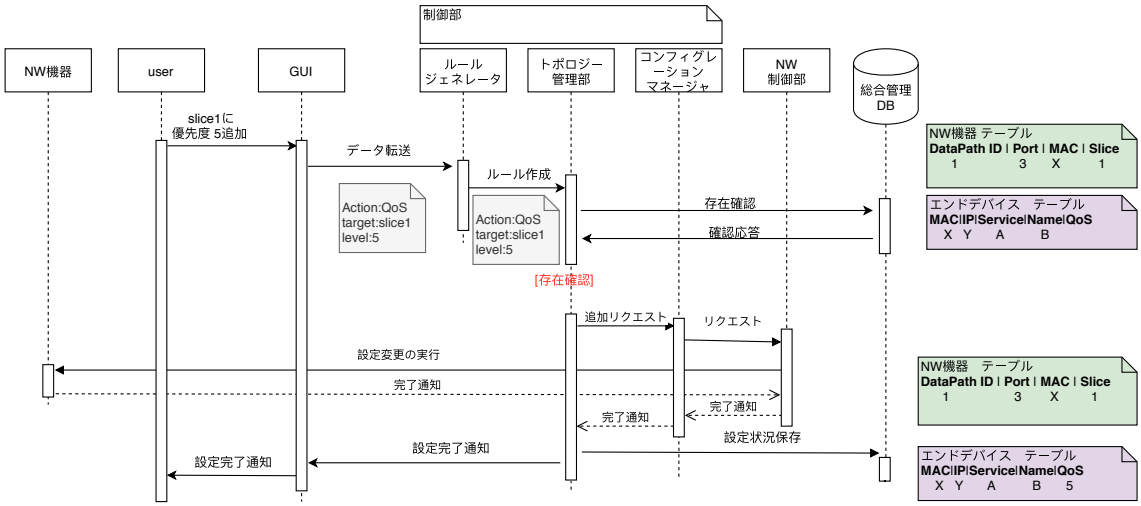

図 19：スライス QoS のシーケンス

5.6 ネットワーク切断

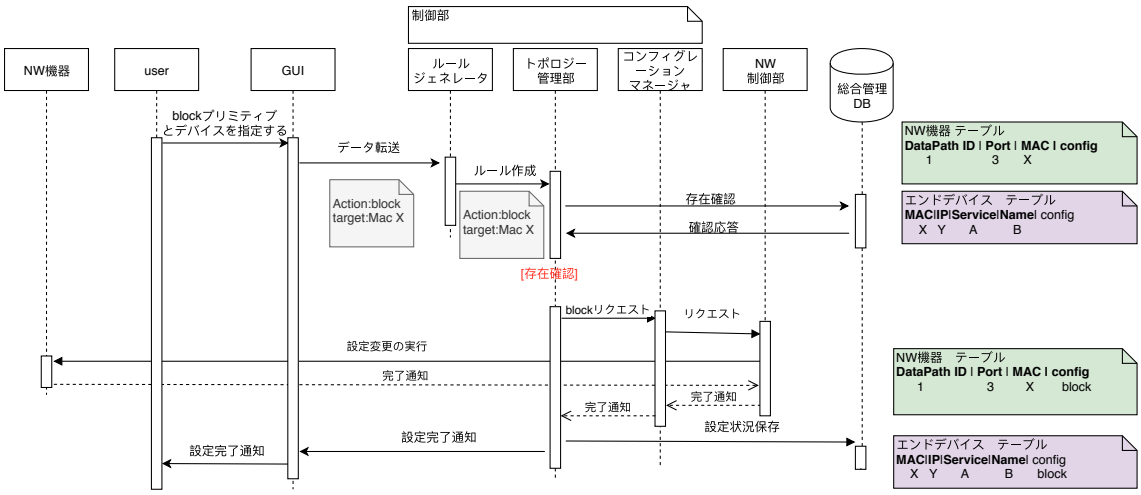

図 20：ネットワーク切断のシーケンス

5.7 ネットワーク復帰

前提：既にネットワークから切断されたデバイスが DB に保存されている.

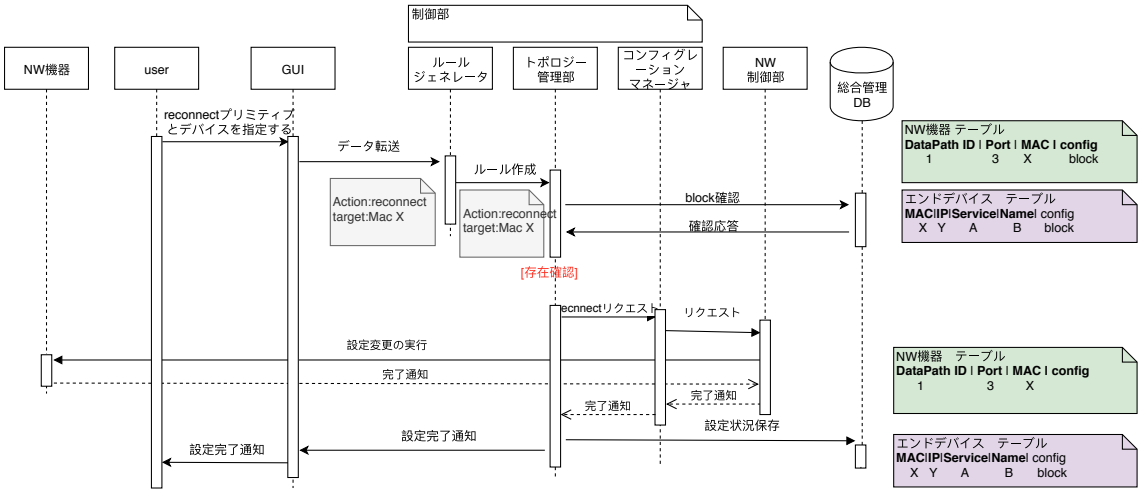

図 21：ネットワーク復帰のシーケンス

第6章 プリミティブの妥当性

本章では提案プリミティブの妥当性に関しての検証を行う.

6.1 基本的なユーザーのシナリオへの妥当性

第 3 章にて基本的な動的構成変更のシナリオに関して例を示した.
これら例に関してプリミティブとの関係性を示す.

例:セキュリティを確保するために HEMS 関連機器を設置時にゲートウェイの裏側へ配置する.

このシナリオを満たすために
１．スライス作成 （HEMSslice）
３．スライス条件追加(HEMS slice，HEMS service）

によって実現できる．この隔離シナリオに対しては事前に 1．スライス作成プリミティブを使用し，隔離スライスを作っておく．次に 3．スライス条件追加プリミティブを使用し HEMS のサービスを使用している機器を隔離スライスに指定することによってユーザーのシナリオを実現可能である.

次に帯域関係のシナリオについて例とプリミティブの使用方法を示す.

例:DLNA を使用する TV と PC に対して QoS の設定を行う.

このシナリオを満たすために,
1．スライス作成(name)
3．スライス条件追加(DLNA slice，TV1 PC)
5．スライス QoS(DLNAslice，priority)

によって実現できる.

このシナリオ例は事前に 1．スライス作成プリミティブと 3．スライス条件追加プリミティブを使用し，DLNA 機器に対してスライスを構築しておく．その後，5．スライス QoS プリミティブを使用し，DLNA 機器のスライスに優先度を高く設定することで快適に視聴できるようにユーザーのシナリオを実現する．

6.2 TR-1062 への妥当性

TR-1062[11]ではカスタマーサポートに接続される情報家電の保守，障害の検出等に関するガイドラインを策定しており，ホームネットワークにおける設置時，サービス起動時，トラブルシューティング時のユースケースがある．
このユースケースを前章にて提案したプリミティブで実現可能か検証することによって，プリミティブの妥当性を示す．

図 22，図 23 で示すように ServiceServer からコンフィグレータへの設定情報登録は人がルールをつくることで実現でき，
図 23 の CE の登録は，図 22 のエンドデバイス NW 機器の登録で実現できる．従って機器を移動した際に PUSH 型でデバイスの設定をおこなうシーケンスはルールベースを用いたプリミティブ 3．スライス条件追加または 4．スライス条件削除で実現できる．

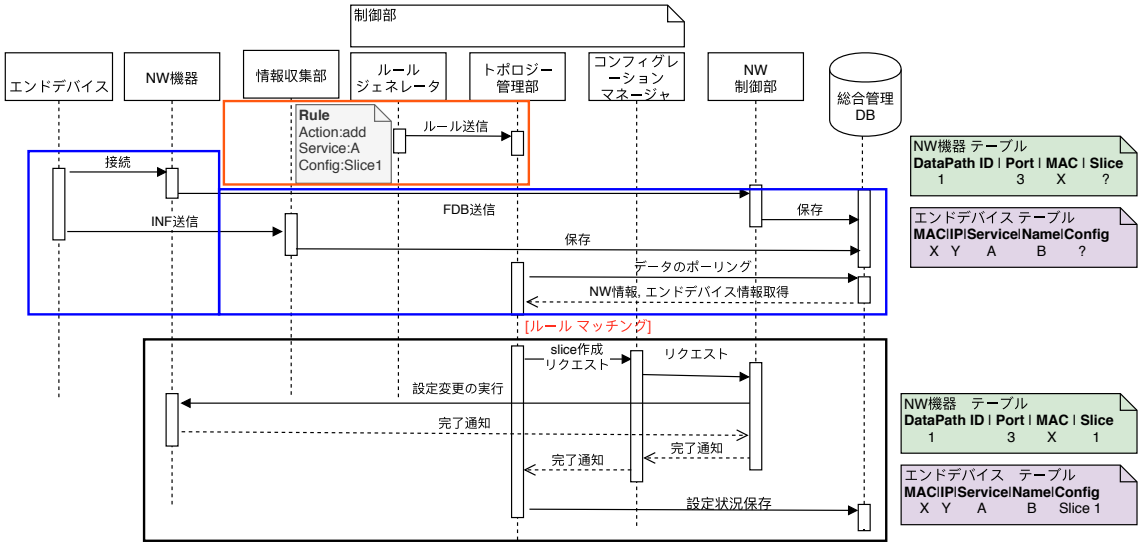

図 22:ルールベース設定のプリミティブ

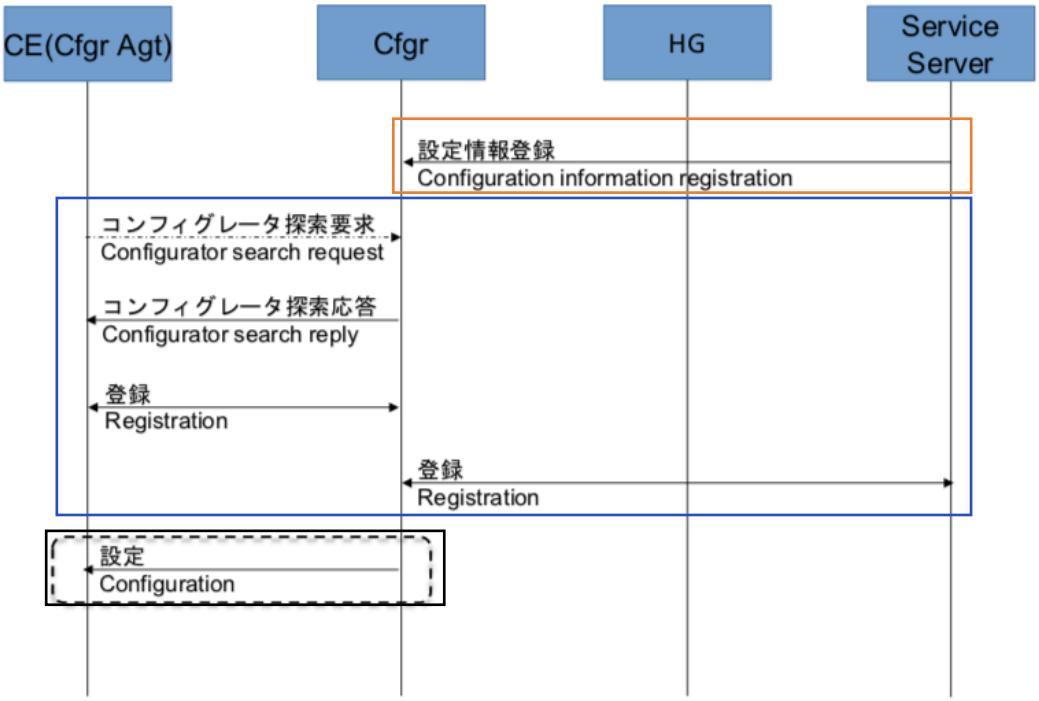

図 23：TR-1062 の機器を移動，PUSH 型

同様に図 25 の機器の移動 PULL 型では
ルールベースでないプリミティブ 1．スライス作成と 2．スライスの削除で実現できる．

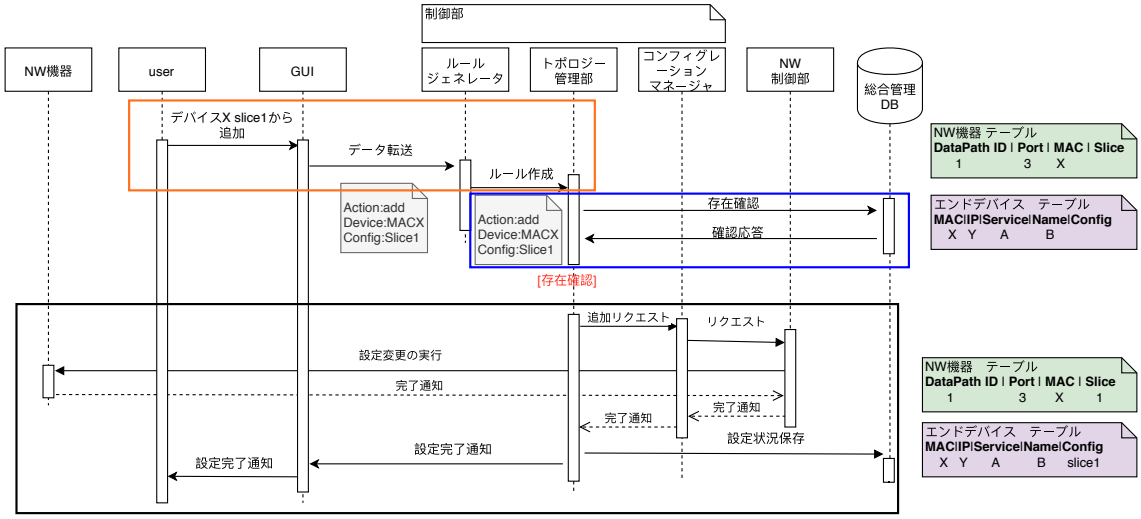

図 24：スライスにデバイスを追加シーケンス

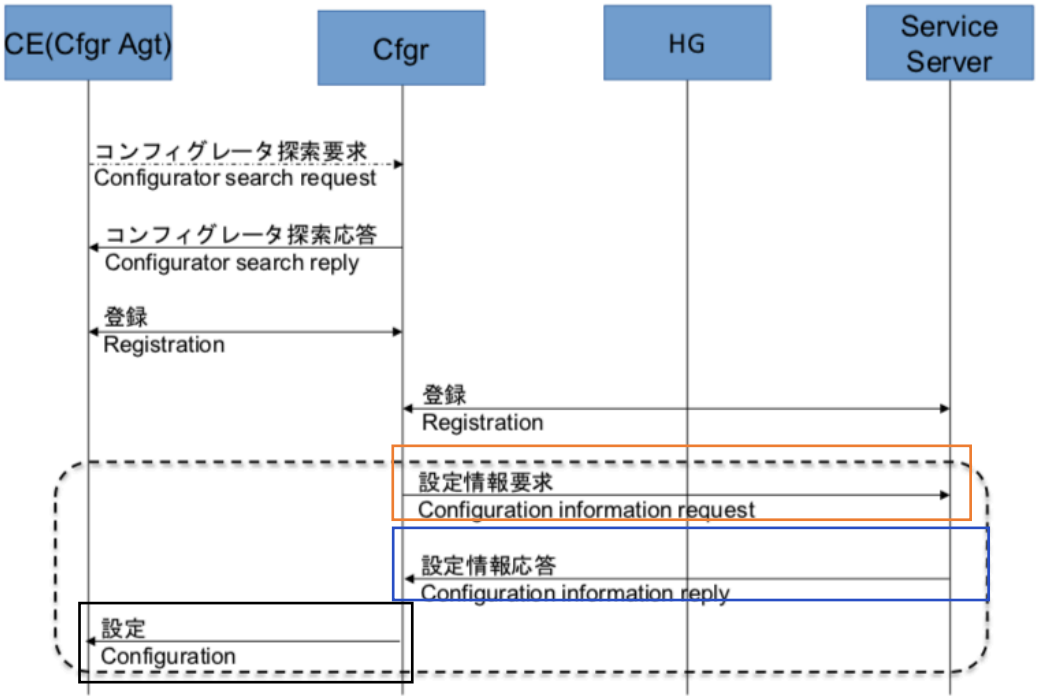

図 25:TR-1062 の機器を移動，PULL 型

サービス起動時，トラブルシューティング時に関しては現在妥当性を評価中である．評価でき次第記載する．

第7章 おわりに

本章では本論文のまとめについて述べる．

7.1 まとめ

本論文では，ネットワークに知識のあるエンドユーザー動的再構成を積極的に行うということを想定した上で，それを手助けする動的構成変更機構のアーキテクチャの提案を行なった．提案アーキテクチャではユーザーに対して機器情報やサービス情報をビジュアライズし，ユーザーがシナリオを考えプリミティブを決定するだけで動的な再構成ができるようにした．プリミティブの定義としてスライス作成｜削除，　スライス条件追加|スライス条件削除，スライス QoS，ネットワーク切断｜ネットワーク復帰と命名してそれぞれの機能が提案アーキテクチャから実行できることをシーケンスから示した．
その後，プリミティブに対してシナリオ例と TR-1062 から妥当性を検証した．

7.2 今後の課題

本研究では IP，Ethernet 上や初めから分割されていないという前提の元，アーキテクチャの提案を行なった．
　しかし，実際のホームネットワークでは ZigBee，Wifi，Bluetooth など多岐にわたる通信プロトコルが存在する．それらを踏まえた上で管理運用情報の収集と動的再構成機構を設計する必要がある．
　また，提案アーキテクチャの実装ベースの具体的な方法やアルゴリズムに関しては提案できていないコンポーネントもある．そのことも様々な実現方法で検証した上で，実デバイスで実装し，システム自体の評価を行う必要がある．

謝辞

本研究を行うにあたり，直接の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，審査をして頂き深く感謝致します．副テーマにおいてもご指導ご鞭撻を賜りましたリム勇仁准教授に感謝致します．また，本論文をまとめるにあたり様々なご協力頂いた Pham Cu さん初め丹研究室，リム研究室の皆様，加えて研究のみならず日常生活においても様々な相談をしてくださった友人達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，支えてくれた家族に感謝致します．

参考文献

[1]総務省　情報通信白書，2017
[2] UPnP™ Device Architecture 1．1 UPnP FORUM UPnP-arch-DeviceArchitecture-v1．1．pdf，2008
[3]JJ-300．00 ホーム NW 接続構成特定プロトコル第 3．0 版，http://www．ttc．or．jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-300．00v3．pdf，　2017．
[4]R．　Presuhn，J．　Case，K．　McCloghrie，M．　Rose and S．　Waldbusser: Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)，RFC3418，IETF，2002．
[5]J．　D．　Case，M．　Fedor，M．　L．　Schoffstall and J．　Davin: Simple network management　protocol (SNMP)，RFC 1157，　IETF，1990．
[6]Open Network Foundation，　https://www．opennetworking．org/ http://www．ttc．or．jp/jp/document_list/pdf/j/STD/JJ-300．01v2．1．pdf
[7]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
[8]北村竜之介，　家庭内ネットワークにおける管理運用情報統合に関する研究，　北陸先端科学技術大学院大学，2018
[9] 藤巻 伶緒 ，　ホームネットワークにおけるトポロジ情報の記述に関する研究，北陸先端科学技術大学大学，2018
[10] Yiakoumis，　Y．，　Yap，　K．　K．，　Katti，　S．，　Parulkar，　G．，　& McKeown，　N．　(2011，　August)．　Slicing home networks．　In Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM workshop on Home networks (pp．　1-6)．　ACM
[11]TR-1062 ホームネットワークサービスにおけるカスタマーサポートユースケース