

TR-1092  
HTIPのIoTシステム適用に関する  
実装指針1  
～トポロジと機能配置～

Implementation guideline 1  
for HTIP on IoT system

～Topology and function layout～

第1.0版

2022年4月5日制定

一般社団法人

情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE

本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。  
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

## 目次

<参考> .....	4
1. はじめに .....	5
1.1 背景 .....	5
1.2 スコープ .....	5
2. HTIP 最大接続数の検討 .....	5
2.1 検討対象とするトポロジ .....	7
2.2 検討における前提条件 .....	8
2.3 データサイズ .....	9
2.4 最大接続数の計算結果および考察 .....	9
3. 大規模 IoT システムの効率的な管理 .....	10
3.1 サーバでの HTIP 情報の利用の形態 .....	10
3.2 GW-サーバ間を流れるデータについて .....	11
3.3 IoT システムの管理について .....	14
4. まとめ .....	15
付録 A. HTIP 最大接続数の計算 .....	16
付録 B. HTIP 送信間隔について .....	19
付録 C. プライベート LoRa 利用時の注意点 .....	20
付録 D. GW-サーバ間の通信 .....	21

## <参考>

### 1. 国際勧告等との関連

本技術レポートに関する国際勧告は本文中に記載している。

### 2. 改版の履歴

版数	制定日	改版内容
第1.0版	2022年4月5日	制定

### 3. 参照文章

主に、本文内に記載されたドキュメントを参照したが代表的な文書を下記に示す。

#### 参照文献

- [LLDP] IEEE 802.1ab (2005), Station and Media Access Control Connectivity Discovery
- [HTIP] TTC JJ-300.00 ホームNW接続構成特定プロトコル
- [HTIP情報リスト] TTC JJ-300.01 端末区分情報リスト
- [TTC TR-1053] TTC TR-1053 サービスプラットフォームにおけるカスタマサポート機能
- [TTC TR-1057] TTC TR-1057 ホームネットワークにおけるカスタマサポート機能ガイドライン
- [TTC TR-1061] TTC TR-1061 JJ-300.00機能実装ガイドライン ～非イーサネットデータリンク層、複数LLDPDU、障害切り分け情報対応～
- [TTC TR-1062] TTC TR-1062 ホームネットワークサービスにおけるカスタマサポートユースケース
- [TTC TR-1073] TTC TR-1073 JJ-300.00機能実装ガイドライン ～非IP及び非イーサネット通信技術への対応～
- [TTC TR-1086] TTC TR-1086 HTIP評価ツール及び構築ガイドライン
- [ARIB STD-T108] 電波産業会 ARIB STD-T108 920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備

### 4. 技術レポート作成部門

第1.0版 : IoTエリアネットワーク専門委員会 (WG3600)

### 5. 本技術レポート「非IP及び非イーサネット通信機器のHTIP機能搭載」の制作体制

本技術レポートは、IoT推進コンソーシアム スマートIoT推進フォーラム(技術開発WG) 技術戦略検討部会 技術・標準化分科会(分科会長: 丹康雄[JAIST/NICT])において原案を作成し、その後TTC IoTエリアネットワーク専門委員会(委員長: 西川 嘉樹[NTT])での審議を経てTTC技術レポートとして公開するものである。

スマートIoT推進フォーラムにおける検討においては、エリアネットワークOAMタスクフォース (リーダー: 松倉隆一[富士通])にて作業にあたった。

## 1. はじめに

本技術レポートは、TTC JJ-300.00, JJ-300.01及び、ITU-T G.9973に基づくホームネットワーク運用管理技術(HTIP)をIoTシステムのIoTエリアネットワークに適用するにあたって留意すべき実装指針を与えることを目的に、IoTエリアネットワーク内に収容できるエンド端末の最大数と、IoTシステムにおける管理機能の配置について、定量的な評価を含め述べたものである。

### 1.1 背景

HTIPは当初、ブロードバンドホームネットワークを想定して開発されたが、IoTシステムにおける端末を直接収容するIoTエリアネットワークにおいてもその有効性が期待され、IoTデバイスやIoTゲートウェイ(以下GW)への実装も試みられている。しかしながら、EthernetやWi-Fiなどで構成されるブロードバンドホームネットワークと比較して、IoTエリアネットワークではBluetoothやLPWAなど、使われる伝送技術の通信速度が低いことが多く、また、家電よりはるかに多くのセンサ等が接続されるなど、収容すべき端末の数が極めて多い。こうした状況においては、ブロードバンドホームネットワークでは問題とならなかったHTIPフレームの定期的なブロードキャストが現実的ではない可能性が高くなる。

また、システム形態においても、ホームネットワークの基本的な部分は家庭内で完結し、HTIPの管理対象も一つのブロードキャストドメインであったのに対し、IoTシステムではクラウドのサーバに対して複数のGWが接続され、各GWの配下にIoTエリアネットワークが存在するような形態をとっていることが多い。ホームネットワークでは、ホームGWでHTIPマネージャを稼働させ、その結果をリモートのオペレーターが確認するような形態が典型的な利用方法となるが、IoTシステムではエリアネットワーク内のHTIPフレームをGW内のHTIPマネージャが受け取って処理するだけでなく、直接クラウドにHTIPフレームを転送してしまう形態もとりうる。これは、エリアネットワークに存在するGWがどのような計算機リソースを有する機器であるのか、オペレーターがその現場でHTIPから得られた情報を直接参照する可能性があるのかなどで、最適な形態が変わることとなる。この場合も、GWからクラウドまでの通信回線のどこかに低速な通信回線があることも想定され、通信量がどのようになるかは重要な観点となる。

### 1.2 スコープ

IoTエリアネットワーク内に収容されるエンド端末、NW機器の台数の上限を明らかにすべく、通信量の定式化を行う。通信量はNW機器とエンド端末の接続構成(トポロジ)に依存するため、代表的なトポロジについて通信量の評価を行う。

また、複数のIoTエリアネットワークで構成されたIoTシステムについて、マネージャ機能の配置についてとりうる形態を示し、それらの特徴を明らかにする。

## 2. HTIP最大接続数の検討

HTIPは当初Ethernetによるホームネットワーク上の機器を管理する技術であり、メッセージのブロードキャストにより管理情報を得ている。一方で、IoTエリアネットワークは無線やシリアルケーブル等の従来からIoTで利用されていたネットワークが組み合わされており、部分的には通信帯域が限られ、接続されるノード数が制限されるなど、HTIPを利用する前提条件が違っている。そのためどのようなケースにおいてもHTIPが利用可能であることを検討する必要がある。

構成要素となる機器には、センサデバイス等のエンド端末と、それらを収容するネットワーク機器(以下、NW機器と記述)とがあり、以下の特徴を持つ。

- ・エンド端末は末端の構成要素であり、自分自身の機器情報のみを通知する。
- ・NW機器は自分自身の機器情報だけでなく、ブリッジとしてのフォワーディングデータベース(FDB)に登録されている情報も通知する。

NW機器が多くなればなるほど送信されるFDBが増えること、またトポロジによって重複した内容が含まれることから、限られた帯域内で管理できる台数は減っていくことが予想される。そのため、NW機器が多段に接続されるトポロジ(Phylogenetic Tree型)を想定し、このトポロジにおける定量的な評価を行う。

## 2.1 検討対象とするトポロジ

### 2.1.1 Star型

1台のNW機器にすべてのエンド端末が接続されている形態。イメージを図1に示す。

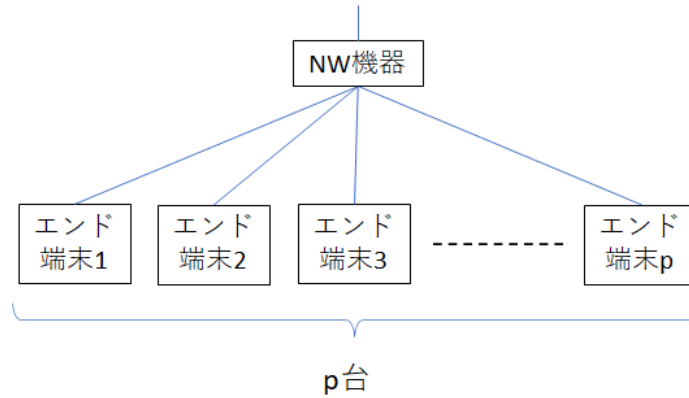


図1. Star型トポロジ

### 2.1.2 Phylogenetic Tree型

NW機器が階層的に接続され、各NW機器には1台のエンド端末が接続されている形態。イメージを図2に示す。

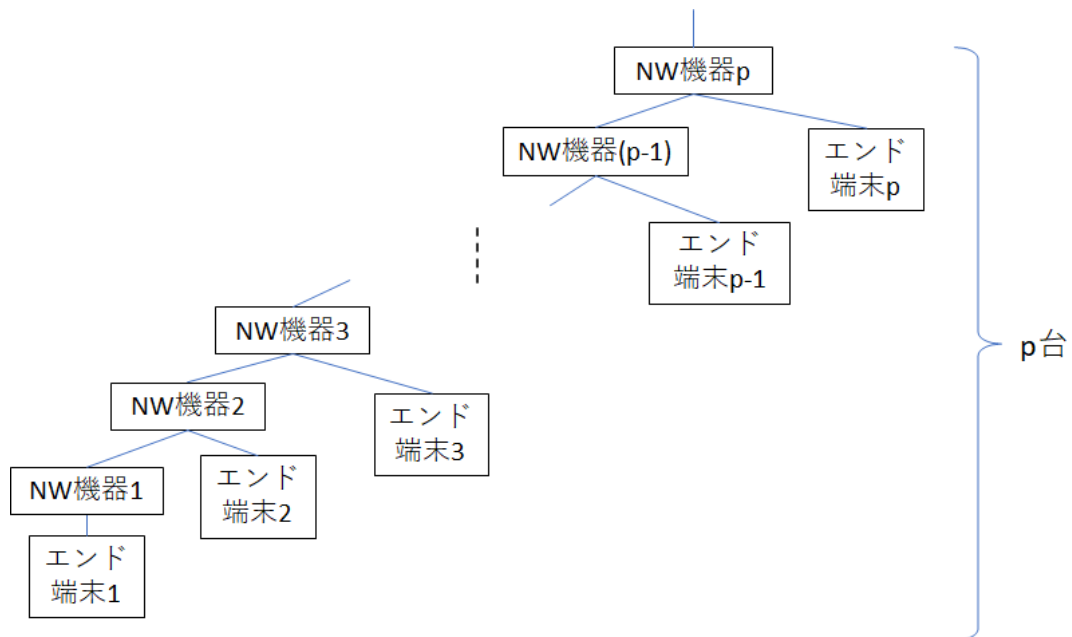


図2. Phylogenetic Tree型トポロジ

## 2.2 検討における前提条件

### 2.2.1 想定するIoTエリアネットワーク伝送技術の通信速度

以後の評価においてIoTエリアネットワークでの使用を想定した伝送技術は以下の2種類である。

- ・Wi-SUN
- ・ZigBee

これらの無線技術では複数の通信速度が選択できるが、安定した通信が実現できる144kbpsを基準として検討を行う。

### 2.2.2 HTIPの送信間隔

送信間隔はIEEE 802.1ABで推奨されている30秒とする。ただし、HTIP のフレームがMTUサイズを超えて、分割して送信された場合には、TR-1061「JJ-300.00機能実装ガイドライン」の”複数LLDPDUに分割して全情報を送信”の項目を参考に、最初に到着したLLDPフレームから10秒以内(送信間隔の1/3以内)に到着したLLDPフレームに含まれるTLVの和集合を、送信者に関するTLV情報として扱うものとする。上記イメージを図3に示す。

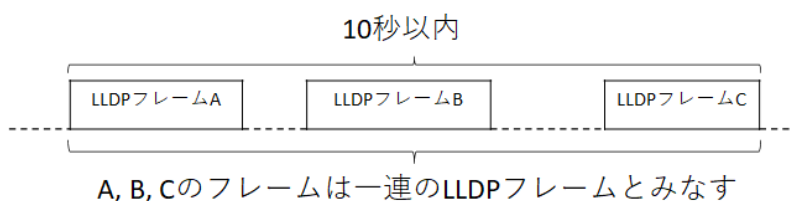


図3. HTIPにおけるLLDPフレーム構成

### 2.2.3 通信データ量

144kbpsで10秒間安定して通信した際のデータ量を計算する。

$$144[\text{kbit/sec}] \times 10[\text{sec}] \div 8[\text{bit/byte}] = 180[\text{kbyte}]$$

帯域の消費を50%とする。

$$180[\text{kbyte}] \times 0.5 = 90[\text{kbyte}]$$

よって、今回の条件において1回の通信で送信できるLLDPフレームのデータの総量は90kbyteとなる。ただし、LLDPDUがMTUサイズを超えた場合は、毎回MTUのサイズで分割できるものとする。

### 2.2.4 その他前提条件

- ・NW機器がFDBを格納するバッファの容量は十分あるものとする
- ・エンド端末、NW機器からの送信は順次行われ、衝突は発生しないものとする



## 2.3 データサイズ

HTTP情報のデータサイズは以下のとおりである。導出過程については、付録Aを参照のこと。

### 2.3.1 エンド端末1台あたりのデータサイズ $D_E$

$$D_E = 108 \times n \text{ [byte]}$$

### 2.3.2 NW機器1台あたりのデータサイズ $D_N$

ただし、NW機器のポート数が $p$ であり、各ポートの先に接続されたエンド端末とNW機器の数を順に $E_1, E_2, E_3, \dots, E_p$ とした場合。

$$D_N = 108 + \sum_{k=1}^p (11 + 6 \times E_k) \text{ [byte]}$$

### 2.3.3 エンド端末数が $n$ 台の場合のStar型のデータサイズ $D_{Star}$

$$D_{Star} = 125n + 108 \text{ [byte]}$$

### 2.3.4 エンド端末数が $n$ 台の場合のPhylogenetic Tree型のデータサイズ $D_{Phylo}$

$$D_{Phylo} = 12n^2 + 243n - 22 \text{ [byte]}$$

## 2.4 最大接続数の計算結果および考察

### 2.4.1 計算結果

Star型の最大接続数はエンド端末で719台である(詳細は付録Aを参照)。NW機器は1台である。

Phylogenetic Tree型の最大接続数はエンド端末、NW機器ともに77台である。

### 2.4.2 最大接続数についての考察

実際のエリアネットワークでは、全体はStar型を基本としながら、デバイスのインタフェースに合わせてインタフェース毎のサブネットワークを構成することが一般的である。したがって、全体がPhylogenetic Tree型で構成される構成よりは多くの機器を接続することができる。

前提とした帯域使用率50%という状況はアプリケーションによっては許容できないものであること、ネットワーク内でのデータの衝突は発生するものであること、通信速度もフィールドごとに条件が変わる場合もあること、を鑑みれば本結果よりも悪い結果になる可能性がある。

電池駆動する端末に対して定期的なブロードキャストベースのアプローチが適切なのかは要検討である。

トポロジおよび障害発見までに許容できる時間に依存してHTTP送信間隔を調整するアルゴリズムも検討可能である。

### 3. 大規模IoTシステムの効率的な管理

本章では、IoTエリアネットワークで構成されるIoTシステムに対してHTIPを適用し、信頼性を向上させる手法について検討する。具体的にはHTIPマネージャの配置であり、配置によってサーバおよびGWがどのような役割となるか、またGW-サーバ間の接続ラインにどのような影響があるかについて検討を行う。

検討対象のIoTシステムは次のような構成とする。IoTエリアネットワークの境界にはGWが位置し、GW-サーバ間の接続パターンとしては、Ethernet、LTEまたはプライベートLoRaがある。配置するHTIPマネージャは、TR-1086のHTIP関連OSSに記載されたnode\_htipとする。node\_htipはエリアネットワークのトポロジの可視化を行うHTIPマネージャ実装であり、ネットワーク上を流れるHTIPメッセージを受信しJSON形式で保持する機能がある。IoTシステムの構成例を図4に示す。

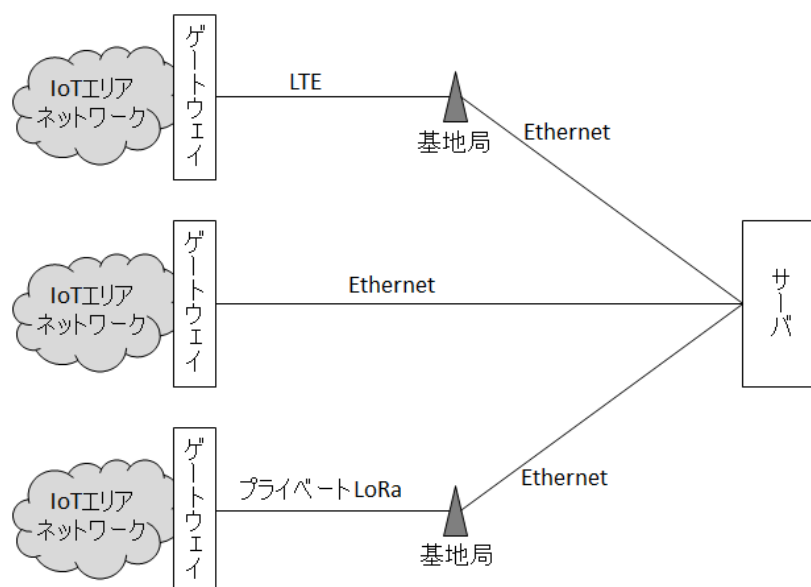


図4. 大規模IoTシステムの構成例

#### 3.1 サーバでの HTIP 情報の利用形態

##### 3.1.1 GWがTLV形式のHTIP情報を出力する形態

主たるマネージャ機能がサーバにあり、GWは自身のマネージャ機能の有無にかかわらず、サーバへTLV形式のHTIP情報を送信する形態。エンド端末やNW機器が出力するHTIP情報が、GWでタイムスタンプを付与されてサーバに届けられる。サーバはすべてのHTIP情報を集約し、トポロジの構築や HTIP 情報の保存、分析を行う。サーバでIoTシステム内の全端末を一元的に管理できるが、サーバにかかる負荷は大きくなる。イメージを図5に示す。

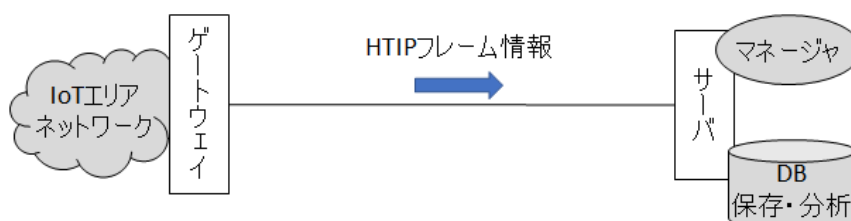


図5. GW-サーバ間通信(HTIPフレーム)

### 3.1.2 GWがトポロジ情報を出力する形態

GWがHTIPマネージャ機能を持ち、そこで生成したJSON形式のトポロジ情報をサーバに送信する形態。この場合、GWはHTIP情報をエリアネットワーク内の送信間隔である30秒に1回送る必要はなく、変化があった場合などの任意のタイミングで送信することも可能である。トポロジ構築等の処理のため、GWに計算資源が必要となる。イメージを図6に示す。

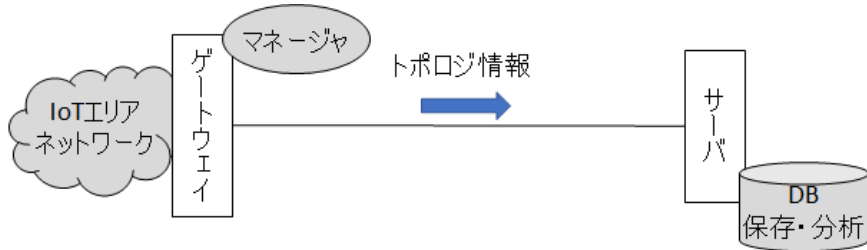


図6. GW-サーバ間通信(トポロジ)

### 3.1.3 サーバが GW に問い合わせる形態

GWにはマネージャ機能と生成したトポロジを蓄積するDBを持たせ、サーバはREST APIなどによりGWに問い合わせを行う形態。問い合わせ方法としては、トポロジ全体や特定の端末だけを取得することができる。トポロジ構築等の処理のため、GWに計算資源が必要となる。イメージを図7に示す。

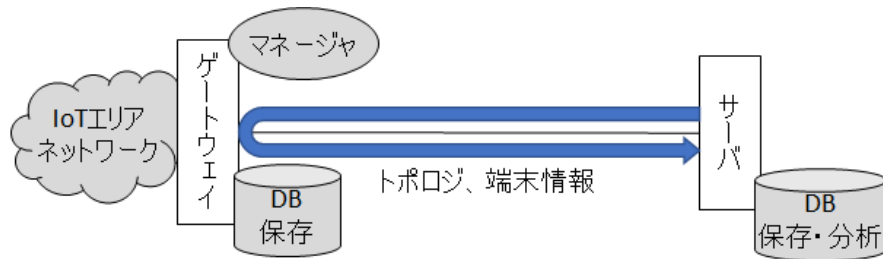


図7. GW-サーバ間通信(サーバ問い合わせ)

## 3.2 GW-サーバ間を流れるデータについて

IoTエリアネットワーク内がStar型で構成されているケースにおいて、GW-サーバ間に流れるデータサイズをHTIPフレーム情報とトポロジ情報の場合で計算する。エリアネットワーク内のエンド端末の台数を $n$ とする。GWからの送信時に、HTIPフレーム情報にはタイムスタンプ(14バイト)とIPヘッダ(20バイト)が、トポロジ情報にはIPヘッダが、それぞれ付与されるものとする。トポロジ情報はアルゴリズムによって生成されるトポロジが複数種類あるが、そのうちサイズが最小のものと最大のものを扱う。

- HTIPフレーム情報の総和  $D_{HTIP}$

$$D_{HTIP} = 194 + 145 \times n \text{ [byte]}$$

- トポロジ情報で最小となるケースのサイズ  $D_{Jmin}$

$$D_{Jmin} = 679 + 362 \times n \text{ [byte]}$$

- トポロジ情報で最大となるケースのサイズ  $D_{Jmax}$

$$D_{Jmax} = 911 + 594 \times n \text{ [byte]}$$

### 3.2.1 データサイズについての考察

GWから送信されるデータのサイズは、HTTPフレーム情報よりトポロジ情報が大きくなる。エンド端末数( $n$ )が1,000台の場合で計算すると、HTTPフレーム情報よりトポロジ情報のほうが最大約4.1倍大きくなる。この理由は、トポロジ情報がJSON形式のテキストデータで記述されているためである。

一方、トポロジ情報の場合、サーバに送信する間隔をGWで制御することが可能であり、送信間隔を変更することでGWが送信するトポロジ情報の総データ量を減らすことができる。HTTPフレーム情報を送信するケースと比較すると、トポロジ変化の伝達が遅延するがトータルでデータ量を削減できる可能性がある。

### 3.2.2 ZIP圧縮の効果

トポロジ記述をコンパクトな形でシリアライズして伝送する標準的な方式があれば、そうした記述とHTTPフレーム情報とを比較すべきである。しかしながら標準的な方式がないため、圧縮による効果がどれくらいあるかについて、汎用文書符号化の代表的な方式であるZIPを用いてトポロジ情報を圧縮したデータとの比較、検討を行う。

トポロジ情報をZIP圧縮すると、最大で元のサイズの3.9%にまで圧縮される。図8はエンド端末数が0台から10台の場合におけるトポロジ情報のサイズと圧縮後のサイズ、圧縮の比率をグラフにしたものである。端末数が増えるにしたがって圧縮の効果が高まっている様子がみえる。詳細については付録Cを参照のこと。

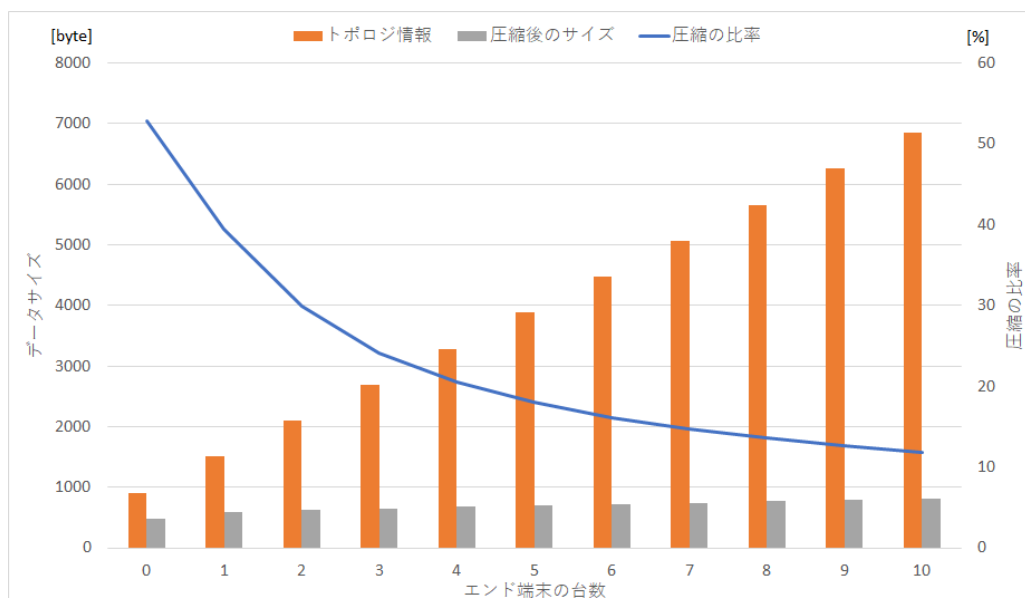


図 8. トポロジ情報の ZIP 圧縮効果

### 3.2.3 ZIP圧縮の効果について

テキストデータであるトポロジ情報を圧縮すると、エンド端末数が増えれば増えるほど圧縮の効果は高くなる。これは、繰り返しのパターンが増えることによるものと考えられる。ある条件下では、エンド端末数が4台以上の場合、HTTPフレーム情報の総和よりZIP圧縮したトポロジ情報が小さくなった。

以上のことから、トポロジ情報を圧縮する手法は有効であると考えられる。

### 3.2.4 HTTPマネージャの配置についての考察

<sup>1</sup> 参考規格として、W3C efficient XML encode JSONバージョンがある (<https://github.com/EXIficient/exificient-for-json>)

HTIPマネージャの配置について検討を行ってきたが、マネージャをGWにもたせるか、サーバに持たせるかについては、個別のユースケースに応じて検討することが望ましいと考えられる。

### 3.3 IoT システムの管理について

HTIP情報をサーバに集約したのちの、IoTシステムの管理について検討する。現在、HTIPマネージャでは主にトポロジ表示による構成の管理を行っている。

#### 3.3.1 期待できる機能

HTIP情報を蓄積することで、期待できる機能を列挙する。

- ・トポロジ変更の履歴

例：Wi-Fi機器がいつの間にか以前とは異なるアクセスポイントに接続されていることの検出、通知等

- ・バッテリー残量の変化、電池切れの予測
- ・通信の品質にかかわるデータの収集および分析

電波強度、通信エラー率、無線品質

これらはネイティブフレームフォーマットには存在しないが、BLEのアダプタイズに含まれる電波強度のように、リンク技術自体に備わっている可能性がある。

#### 3.3.2 管理の事例

無線通信において、電波強度や無線品質は通信するたびに変化する。一方で、農業における植物の成長や工場における製造ライン等のレイアウト変更による周辺環境の変化が電波強度や無線品質に影響を及ぼすといった長期的な環境変化も発生する。サーバに収集・蓄積された情報を移動平均などの手法でトレンド分析することにより、長期的な変化と短期的な変化を分類し、状況をより適切に判定することができる。また、こうした分析・判定をサーバで一元的に実行し、状況把握することが可能となる。

#### 4. まとめ

HTTP 最大接続数の検討では、IoT エリアネットワークにおける収容台数に関して、前提条件とトポロジを想定し、収容可能となる上限の台数について明らかにした。

大規模 IoT システムの効率的な管理については、マネージャ機能の配置、GW-サーバ間のデータサイズ、トポロジ情報の圧縮の効果について述べた。マネージャ機能を GW、サーバのどちらに配置すべきかについては、個別のユースケースで検討することが必要である。

## 付録A. HTIP最大接続数の計算

### 1. LLDPデータサイズ

#### 1.1 エンド端末

HTIPの仕様および稼働中のHTIPデータサイズを参考に、以下の値とする。

表A-1. HTIPフレーム構成

TLV Type	説明	サイズ[byte]
1	Chassis ID	9
2	Port ID	9
3	Time To Live	4
4	Port Description	6
127	機器情報 区分	16
127	機器情報 メーカーコード	16
127	機器情報 機種名	16
127	機器情報 型番	16
0	End Of LLDP	2
合計		94

この結果にイーサネットヘッダの 14byte を加えて、合計は 108byte となる。よって、ネットワーク内にエンド端末が  $n$  台あった場合には、LLDPDU のデータ総量  $D_E$  は、以下となる。

$$D_E = 108 \times n \text{ [byte]}$$

#### 1.2 NW機器

NW機器では、エンド端末のLLDPDUのデータサイズに加えて接続構成情報が付加される。接続構成情報において、インタフェース種別を1byte、ポート番号を1byte、ポートに配下に  $n$  台のエンド端末またはNW機器が接続されているとしたとき、1ポート当たりの接続構成情報のサイズ  $D_p$  は以下となる。

$$D_p = 11 + 6 \times n \text{ [byte]}$$

NW機器のポート数が  $p$  であり、各ポートの先に接続されたエンド端末とNW機器の数を順に  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_p$  としたとき、1台のNW機器が送出する LLDPDU のデータサイズの総和  $D_N$  は以下の式で表される。

$$D_N = 108 + \sum_{k=1}^p (11 + 6 \times E_k) \text{ [byte]}$$

### 2. Star型での計算

1台のNW機器に  $n$  台のエンド端末が接続されている状態でHTIPデータを送信したとき、90 kbyte 以下となる  $n$  の値を計算する。

各エンド端末が送信する LLDPDU の合計  $D_{ES}$  は以下の式となる。

$$D_{ES} = 108 \times n \text{ [byte]}$$

NW機器が送信する LLDPDU の合計  $D_{NS}$  は、以下の式となる。

$$D_{NS} = 108 + (11 + 6 \times 1) \times n \text{ [byte]}$$



よって、LLDPDUの合計  $D_{Star}$  は以下の式となる。

$$\begin{aligned} D_{Star} &= D_{ES} + D_{NS} \\ &= 108 \times n + 108 + (11 + 6 \times 1) \times n \\ &= 125n + 108 \text{ [byte]} \end{aligned}$$

下記の式を満たすnを求めると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} D_{Star} &< 90000 \\ 125n + 108 &< 90000 \\ 125n &< 89892 \\ n &< 719.136 \end{aligned}$$

よって、Star型で収容できる台数は、719台以下となる。

### 3. Phylogenetic Tree型での計算

Phylogenetic Tree 型の特徴は、1台のNW機器に1台のエンド端末が接続したものを複数階層に積み上げた構成と考えることができる。すなわち、 $m$  階層からなる Phylogenetic Tree 型のトポロジには、エンド端末が  $m$  台、NW機器も  $m$  台収容されていることになる。

この時、エンド端末が送出する LLDPDU の合計  $D_{EP}$  は以下のとおりである。

$$D_{EP} = 108 \times m \text{ [byte]}$$

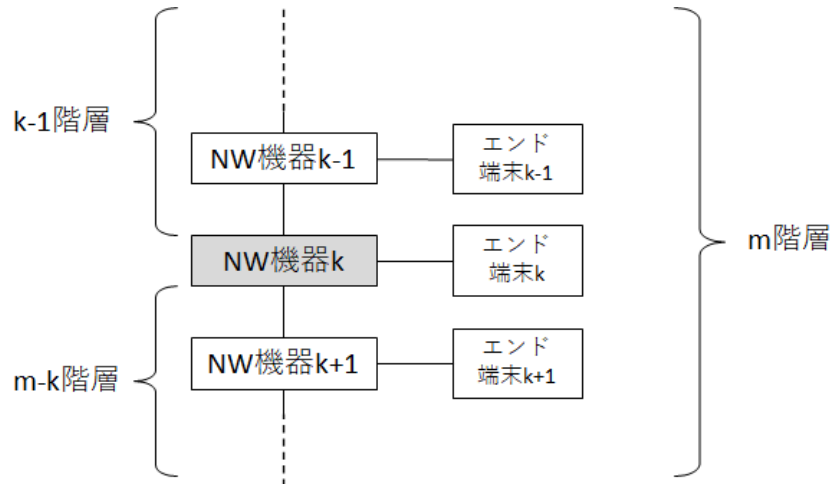
NW機器において、接続構成情報を考えないNW機器本体のみのLLDPDUの合計  $D_{NP1}$  は以下のとおりである。

$$D_{NP1} = 108 \times m \text{ [byte]}$$

NW機器において、エンド端末との接続構成情報の LLDPDU の合計  $D_{NP2}$  は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} D_{NP2} &= (11 + 6 \times 1) \times m \\ &= 17 \times m \text{ [byte]} \end{aligned}$$

NW機器における、NW機器との接続構成情報のLLDPDUについて、図A-1で考える。



図A-1. Phylogenetic Tree型のNW機器構成

まず  $m$  階層あるうちの、末端でない  $k$  階層目のNW機器について考える。 $(k = 2, 3, \dots, m-2, m-1)$  のとき  $k$  階層より上位側は  $(k-1)$  階層あり、下位側は  $(m-k)$  階層あることになる。そのため、上位側の接続構成情報の LLDPDU のバイト数  $D_{NP3}$  は次のように計算される。1階層につきNW機器とエンド端末が1台ずつ接続されているため、ポートに接続されたMACアドレスの数は階層数 $\times$ 2となる。

$$D_{NP3} = (11 + 6 \times (k - 1) \times 2) \text{ [byte]}$$

同様に下位側の接続構成情報の LLDPDU のバイト数  $D_{NP4}$  は以下となる。

$$D_{NP4} = (11 + 6 \times (m - k) \times 2) \text{ [byte]}$$

上記の  $D_{NP3}$  および  $D_{NP4}$  を合わせたものが  $(m-2)$  階層分あるため、合計のバイト数  $D_{NP5}$  は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} D_{NP5} &= (D_{NP3} + D_{NP4}) \times (m - 2) \\ &= (10 + 12 \times m) \times (m - 2) \text{ [byte]} \end{aligned}$$

次に、NW機器のうち末端の接続構成情報のバイト数  $D_{NP6}$  は、以下のとおりである。

$$D_{NP6} = (11 + 6 \times (m - 1) \times 2) \text{ [byte]}$$

これが上下に2台あるため、合計のバイト数  $D_{NP7}$  は以下のようになる。

$$\begin{aligned} D_{NP7} &= D_{NP6} \times 2 \\ &= 24 \times m - 2 \text{ [byte]} \end{aligned}$$

これまでの式を全部合算して、LLDPDU の合計  $D_{Phylo}$  を求めると、以下の式となる。

$$\begin{aligned} D_{Phylo} &= D_{EP} + D_{NP1} + D_{NP2} + D_{NP5} + D_{NP7} \\ &= 108m + 108m + 17m + (10 + 12m) \times (m - 2) + 24m - 2 \\ &= 12m^2 + 243m - 22 \text{ [byte]} \end{aligned}$$

数字をあてはめて LLDPDU のデータ量を計算すると、 $m=77$  のとき 89,837 バイト、 $m=78$  のとき 91,940 バイトとなった。このことから、Phylogenetic Tree 型で収容できるエンド端末の台数は 77 台以下となる。

## 付録B. HTIP送信間隔について

HTIPの送信間隔としては、IEEE 802.1ABが推奨している30秒という値が使われている。一方で、エンド端末が送信するセンサ情報が1日に数回程度といったIoTエリアネットワークにおいても、HTIPを30秒間隔で送信することは適切とは考えにくい。送信間隔の検討を行うにあたり、送信間隔に影響を与える変数について列挙する。

### 1. スタティックな要因

- ・ トポロジ (接続台数)
- ・ 障害検出までの許容時間
- ・ センサデータの平均送信間隔
- ・ 帯域の平均利用率 (バースト的なものは別途検討が必要)
- ・ NW機器のエイジングタイム

### 2. ダイナミックな要因

- ・ バッテリ残量
- ・ リンクスピード

スタティックな要因のみであれば、ネットワーク設計時にHTIP送信間隔を決めることができる。ダイナミックな要因については、どの程度の影響を与えるかについて検討する必要がある。例えば、あるマイコンを使用していた際に、バッテリー残量が半分になったときにHTIPの送信間隔を2倍にするようなアルゴリズムを採用した場合、机上でバッテリー残量の計算を行ったところ、バッテリーの寿命が10%程度増加する結果となった。バッテリー寿命の変化の度合いは使用するマイコンや通信技術によっても変化するが、有効な方法の一つであるといえる。

### 付録C. プライベートLoRa利用時の注意点

プライベートLoRaは920MHz帯を利用しているため、電波産業の規格であるARIB STD-T108に適合する必要がある。この規格に含まれる規制に以下のものがある。

- ・キャリアセンス時間
- ・送信制限時間
- ・休止時間
- ・1時間当たりの送信時間総和

プライベートLoRaなどの920MHz帯を利用する場合には、管理できるノード数の上限が前記の規格により制約をうけるため注意が必要である。

## 付録D. GW-サーバ間の通信

GW から出力される HTIP 情報のデータサイズを計算する。エリアネットワーク内のエンド端末数を  $n$  としたとき、GW から出力される HTIP に関する情報のデータサイズは、以下のようになることが実機検証を通して判明している。エリアネットワーク内のトポロジはStar型とする。

### 1. TLV形式のHTIP情報

$n$  台のエンド端末が出力するHTIP情報のサイズ  $D_{TLVe}$

$$D_{TLVe} = 94 \times n \text{ [byte]}$$

NW機器が出力するHTIP情報のサイズ  $D_{TLVn}$

$$D_{TLVn} = 160 + 17 \times n \text{ [byte]}$$

GWからの出力時、各端末からのHTIP情報に、TLV形式のタイムスタンプ(14バイト)とIPヘッダ(20バイト)を付与する。

### 2. トポロジ(JSON)形式のHTIP情報

HTIP-Managerが生成するJSON形式のトポロジ情報は、いくつかのアルゴリズムで構築されており、出力されるトポロジ情報のサイズが異なっている。ここでは、最小となるサイズと最大となるサイズを示す。

最小となるケースのサイズ  $D_{Jmin}$

$$D_{Jmin} = 679 + 362 \times n \text{ [byte]}$$

最大となるケースのサイズ  $D_{Jmax}$

$$D_{Jmax} = 911 + 594 \times n \text{ [byte]}$$

エンド端末数( $n$ )を10台、100台、1000台と変化させたときの、GWから出力されるデータサイズを表に示す。

表C-1. エンド端末 $n$ 台でのサーバ-GW間データサイズ

	元のサイズ 実測値	タイムスタンプ追加 14 bytes	IPヘッダ追加 20 bytes
エンド端末のHTIP情報	$94 \times n$	$108 \times n$	$128 \times n$
NW機器のHTIP情報	$160 + 17 \times n$	$174 + 17 \times n$	$194 + 17 \times n$
トポロジ情報(最小)	$679 + 362 \times n$	—	$699 + 362 \times n$
トポロジ情報(最大)	$911 + 594 \times n$	—	$931 + 594 \times n$

表C-2. エンド端末数(10、100、1000台)でのデータサイズ

	n=10の場合	n=100の場合	n=1,000の場合
エンド端末のHTIP情報 (A)	1,280	12,800	128,000
NW機器のHTIP情報 (B)	364	1,894	17,194
HTIP情報の合計(A+B)	1,644	14,694	145,194
トポロジ情報(最小)	4,319	36,899	362,699
トポロジHTIP情報(最大)	6,871	60,331	594,931

表からわかることは、エンド端末数 ( $n$ ) が100台の場合で見比べてみたときに、TLV形式のHTIPをサーバに送る場合と比較して、トポロジ形式(最小)の場合で約2.5倍、トポロジ形式(最大)の場合で約4.1倍にまでデータが膨らむことである。この関係は、エンド端末数 ( $n$ ) が10台、1,000台の時も同様の傾向を示している。これは、トポロジ形式でサーバに送信する場合は、そのデータサイズに注意する必要があることを示している。

一方で、トポロジ情報として送る場合のメリットとしては、エンド端末の数にかかわらず、通信が1回ですむことと、送信のタイミングをGWが任意に決められることである。例えば、トポロジの構成に変更がない場合には、必ずしも30秒に1回の割合でサーバに送信しなくてもよく、変化があったときだけ送信する、というように自由に決めることができる。これにより、GW-サーバ間の通信データ量をトータルで削減することができる。

### 3. トポロジ情報の圧縮

HTIPフレームがバイナリデータであるのに対して、トポロジ情報はJSON記述のテキストデータである。トポロジ情報をWindowsでZip圧縮したときの効果を測定すると、表C-3のようになった。グラフを図C-1~3に示す。

表C-3. トポロジ情報のZIP圧縮効果

エンド端末数	0	1	2	3	4	5	10	50	100	500	1000
トポロジ情報のサイズ (A)[byte]	911	1505	2099	2693	3287	3881	6851	30611	60311	297911	594911
圧縮後のサイズ (B)[byte]	481	594	628	651	675	701	812	1728	2807	11962	23239
圧縮の比率 (B/A)[%]	52.80	39.47	29.92	24.17	20.54	18.06	11.85	5.65	4.65	4.02	3.91
HTIP フレーム情報のサイズ	194	339	484	629	774	919	1644	7444	14694	72694	145194

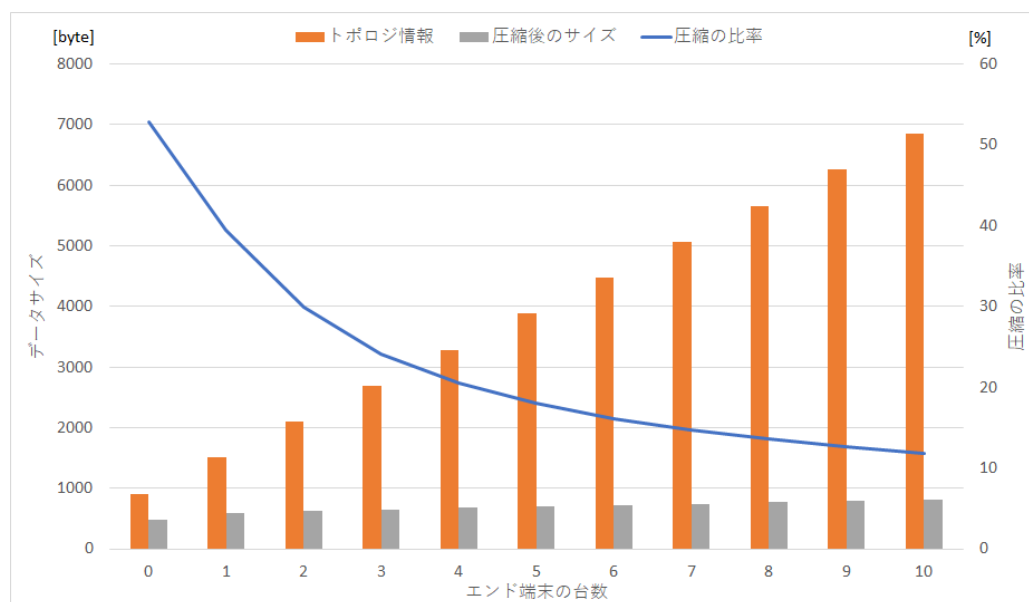


図 C-1. エンド端末数が 0~10 台の場合のトポロジ情報・圧縮後のサイズ・圧縮の比率

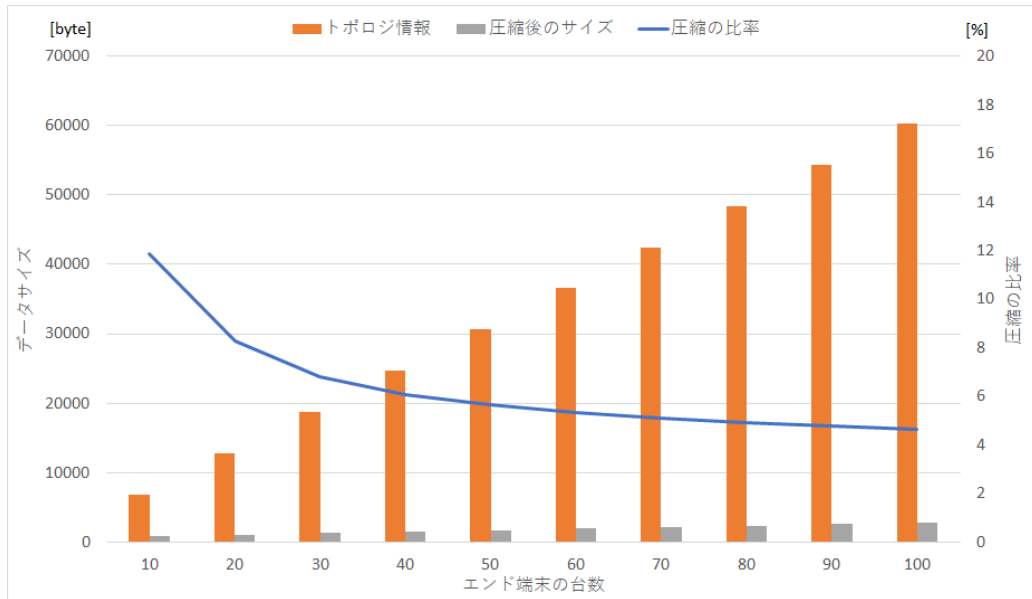


図 C-2. エンド端末数が 10～100 台の場合のトポロジ情報・圧縮後のサイズ・圧縮の比率

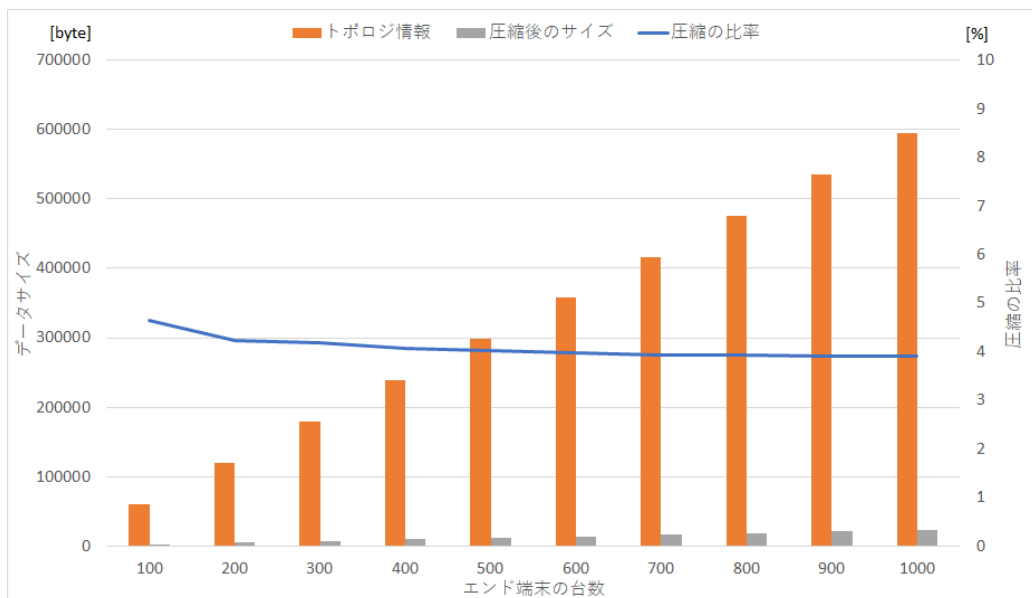


図 C-3. エンド端末数が 100～1,000 台の場合のトポロジ情報・圧縮後のサイズ・圧縮の比率

#### 4. LTEでの帯域利用率

前節で求めたデータサイズについて、GW-サーバ間にLTEを利用したときの帯域利用率を求める。LTEの通常の方法は最大 150Mbps となっているが、実効速度では 1Mbps 程度である。実行速度を用いて、エンド端末数が1,000台の場合のTLV形式のHTIP情報と、トポロジ情報(最大)の帯域利用率について計算する。

##### 4.1 TLV形式のHTIP情報

表ではデータサイズが 145,191 バイトとなっている。LTEの速度が1Mbpsとしたときの30秒間の帯域利用率は、以下のとおりである。

$$145,191[\text{byte}] \times 8[\text{bit}/\text{byte}] \div 30[\text{sec}] \div (1 \times 10^6[\text{bit}/\text{sec}]) \approx 3.85[\%]$$

#### 4.2 トポロジ形式のHTIP情報(最大)

表ではデータサイズが 594,931 バイトとなっている。LTEの速度が1Mbpsとしたときの30秒間の帯域利用率は、以下のとおりである。

$$594,931[\text{byte}] \times 8[\text{bit/byte}] \div 30[\text{sec}] \div (1 \times 10^6[\text{bit/sec}]) \approx 15.86[\%]$$