

# 通信品質計測 Web サービスを活用した 日本の IPv6 インターネット環境の分析と考察

豊田 安信<sup>2,1,5,a)</sup> 岩本 裕真<sup>2,5</sup> 加藤 良輔<sup>2,5</sup> 北口 善明<sup>3,5</sup> 中川 あきら<sup>5</sup> 永見 健一<sup>4,5</sup>  
西野 大<sup>2,5</sup>

**概要:** 本研究では IPv4/IPv6 デュアルスタックでユーザのインターネット品質を計測する Web サービス “iNonius Speed Test” を利用し、現在の日本のインターネットアクセス環境の網羅的な分析を行った。本分析を通して IPv6 インターネットアクセス環境の現状や課題を考察する。

## Analysis and Consideration of the IPv6 Internet in Japan using the Internet Quality Measurement Web Service

**Abstract:** In this research, we have conducted a comprehensive analysis of the current Internet access environment in Japan using the “iNonius Speed Test”, a web service that measures the Internet quality of users with IPv4/IPv6 dual stack. Through this analysis, we discuss the current status and issues of the IPv6 Internet access environment.

### 1. はじめに

日本国内において IPv6 を用いたインターネット接続は、運用フェーズに入った。各社 ISP 事業者は、IPv4/IPv6 デュアルスタックでの接続性を提供し、ユーザは Happy Eyeballs の仕様に従い利用している OS の挙動によるが概ね IPv6 が優先的に接続されると考えられる。

インターネット品質及び IPv6 普及率を評価する取り組みは、これまでも多くの研究・サービスが存在しているが、日本国内に焦点を当てて IPv4 と IPv6 を相互に評価するものがなかった。そこで、我々は、日本のインターネットにおける IPv6 対応状況を分析・評価することを目的として、インターネット通信品質計測 Web サービス “iNonius Speed Test” を構築・運用してきた。

本稿では、このインターネット通信品質計測 Web サービス

の概要を解説し、収集した計測データをもとに、2020 年における日本の IPv6 インターネットアクセス環境の分析と考察をおこなった。

### 2. 関連研究

#### 2.1 IPv6 普及率に関して

日本国内の IPv6 の普及に関しては、様々な側面からのレポートが公開されている。中でも、IPv6 普及・高度化推進委員会の公開データ [1] が国内の IPv6 普及率の公開データとして有力だと考えられる。IPv6 普及・高度化推進委員会の公開データは、Web サイト、バックボーン、アクセス網の 3 点で IPv6 普及率が公開されている。

Web サイトの情報に関しては、2013 年 6 月 5 日時点までの Web・Mail・DNS の AAAA レコードの名前解決が可能なサイト数が公開されており、バックボーンに関しては、2021 年 1 月時点までの BGP 経路表における TransitIPv6 対応数を元に IPv6 の経路情報を広報している AS 数の割合が公開されている。アクセス網に関しては、ISP からの提供情報からフレッツ光ネクスト及びその他ネットワークについて、IPv6 での接続可能なアカウント数の割合を収集し IPv6 普及状況の指標の一つとして公開されている。アクセス網における IPv6 普及状況調査に着目するとフレッツ

<sup>1</sup> 慶應義塾大学  
Keio University  
<sup>2</sup> 株式会社ブロードバンドタワー  
BroadBand Tower, Inc.  
<sup>3</sup> 東京工業大学  
Tokyo Institute of Technology  
<sup>4</sup> 株式会社インテック  
INTEC Inc.  
<sup>5</sup> iNonius Project  
<sup>a)</sup> yas-nyan@bbtower.cloud

光における IPv6 普及率は 76.1% であり KDDI AU ひかりでは、2014 年以降 IPv6 の接続性提供が完了している [1]。この点から ISP の環境では IPv6 が、おおよそ提供可能状況にあると言える。

また、コンテンツ事業者の側面からのレポートとしては、Google がインターネットアクセス環境における IPv6 の採用状況を公開している [2]。これによると、日本で IPv6 によるインターネット接続性を有するユーザの割合は、2021 年 1 月時点において 37% 程度 [2] となっている。

## 2.2 計測手法に関して

IPv4/IPv6 デュアルスタック環境の普及率計測といった観点では、前節の手法により知り得る事ができる。先行研究においては、ユーザがインターネット接続を利用する際の体感的な通信遅延が、IPv4/IPv6 でどの程度差分があるのかの議論がおこなわれている [3]。

また、ユーザがインターネット接続品質を知り得る手法もいくつか存在している。端末のネットワーク監視用コマンドを利用する手法や Web ベースのスピードテストサイトを利用する手法が一般的だと考えられる。Web ベースのスピードテストに関しては、Ookla が提供している [www.speedtest.net](http://www.speedtest.net)、NetFlix が提供する [Fast.com](http://Fast.com)、および Google が提供する Speedtest が有名であり、[ipv6-test.net](http://ipv6-test.net) では IPv4 と IPv6 の同時計測によるスピードテストを実施することができる。

## 2.3 現状の課題

2.1 節で挙げた既存公開情報において、アクセス網提供事業者の IPv6 の環境整備状況とコンテンツ提供事業者がユーザの IPv4/IPv6 の割合には大きく偏りがある。これは関連研究・レポートでは、IPv4/IPv6 網の IPv6 化に関するレポートが多く、ユーザへの普及度合いの実態調査はできていないと考えられる。また、網別の IPv4/IPv6 の品質の優位性に関しても実態調査を行い明らかにする必要がある。昨今国内のモバイル事業者における IPv6 への取り組みによる、網の IPv6 環境提供は進んでいる [4] ことを鑑みるとモバイル端末からの IPv6 によるアクセス数増減に言及できておらず、観測する必要がある。

また、昨今のコンテンツ肥大化に伴い、IPv4 と IPv6 の通信遅延に関する比較だけでは十分でない状況となっており、通信速度の分析が必要となっている。2.2 節に挙げたスピードテストサイトでは、IPv4 と IPv6 の計測を同時に実施することができていないため比較評価が十分でなかったり、日本国内の計測拠点がなく国内のみの速度測定をすることができないといった課題が存在する。

以上の課題を受け本研究では、IPv4/IPv6 のインターネット品質を同時に計測できる Web サービスを日本国内に設置し、通信遅延・通信速度の実測値データを収集する

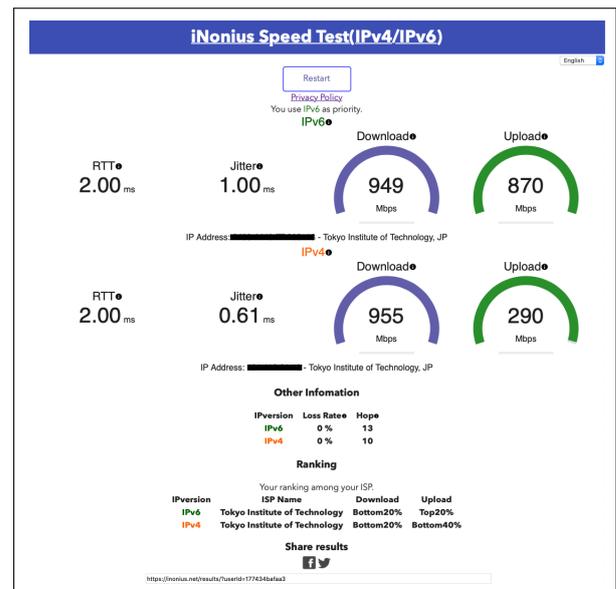


図 1 iNonius Speed Test サイトの表示例  
Fig. 1 Example of iNonius Speed Test site display.

ことで日本の IPv6 インターネット環境の状況を明らかにすることを旨とする。

## 3. 計測手法

### 3.1 インターネット通信品質計測 Web サービス

iNonius プロジェクトでは、IPv4/IPv6 デュアルスタック環境におけるインターネット通信品質を、最大 10Gbps まで計測可能とする Web サービス “iNonius Speed Test” を運用してきた。スピードテストアプリケーションには、標準的な Web ブラウザ機能のみで計測できることを条件とし、カスタマイズ性の高い OSS にて展開されている LibreSpeed<sup>\*1</sup>を採用している。LibreSpeed は、GPL ライセンスで GitHub にて公開されている OSS で、HTML5 を用いて往復通信遅延やジッタ、通信速度の計測が可能である。

2 章にて述べたように、既存のインターネットスピードテストサイトでは、IPv6 に対応しているものは存在しているが、IPv4 と IPv6 を同時に計測するサービスを提供しているものはない。そこで、これまでの “iNonius Speed Test” に追加実装することで、IPv4/IPv6 同時計測を実施するスピードテストサイトとして再構築した。図 1 に “iNonius Speed Test” の計測画面を記す。

デュアルスタックのサーバに対して通信するプロトコルを制御するには、接続先 URL に指定するドメイン名を IPv4 only および IPv6 only とし、Web サーバにおける仮想ドメインと URL パラメタに含めたユーザ ID を利用する手法がある [5]。 “iNonius Speed Test” においても、計測ページ内に IFRAME タグを利用し、IPv4 専用および IPv6 専用の URL を指定することで、両プロトコルでの通信品

<sup>\*1</sup> LibreSpeed: <https://github.com/librespeed/speedtest>

表 1 iNonius Speed Test にて収集している計測項目  
Table 1 Measurement metrics on iNonius Speed Test.

計測項目	計測手法
通信遅延	HTTP 通信 10 回分の最小値 (LibreSpeed)
ジッタ	HTTP 通信 10 回分の遅延差 (LibreSpeed)
下り速度	HTTP GET を 6 stream (LibreSpeed)
上り速度	HTTP POST を 3 stream (LibreSpeed)
ISP 情報	IPinfo 利用 (LibreSpeed) と独自実装
MSS 値	TPC セッションの MSS を観測
パケットロス率	TCP セッションのシーケンス番号を観測
ホップ数	IP ヘッダ情報 (TTL/HopLimit) を利用

質計測を実現している。

加えて、利用者側のネットワーク環境と通信品質計測結果の比較評価を行うために、Web サービスにおけるアプリケーション層では計測ができない情報 (TCP セッション情報や IP ヘッダ情報など) をサーバ側にて収集する手法 [3] を取り入れた。

### 3.2 計測項目

“iNonius Speed Test”において計測している項目を表 1 にまとめる。

通信遅延 (RTT: Round Trip Time) およびジッタ (Jitter), 下り速度 (Download), 上り速度 (Upload) は, LibreSpeed におけるデフォルト設定による計測にて取得している。ISP 情報は, LibreSpeed 実装で利用している IPinfo<sup>\*2</sup>による GEO IP 情報に加え, 独自に収集した送信元 IP アドレス情報により判断している。

MSS (Maximum Segment Size) 値は, libpcap による TCP セッションのパケットキャプチャにて取得している。パケットロス率は, LibreSpeed による速度計測時の TCP セッションにおける再送フレーム数を総フレーム数で割った値を利用している。ホップ数は, IP ヘッダ情報から TTL 値 (IPv4), Hop Limit 値 (IPv6) を取得し, 文献 [3] と同じ手法で送出時の値を推定してその差を用いている。

### 3.3 MSS を用いた利用者の通信タイプ推定手法

2020 年 3 月時点において, 日本における固定系ブロードバンド契約数 (4,120 万) のうち, FTTH (光回線サービス) の契約数 (3,309 万) が 8 割を占めており, そのうち NTT 東西によるフレッツ光のシェア率が 65.5%となっている [4][6]。フレッツ光は NGN (Next Generation Network) と呼ばれる IPv6 で構築された閉域網を使って実現されているため, ISP 事業者がこの閉域網を超えてインターネット接続を実現する方式として PPPoE (Point-to-Point over Ethernet) 方式と IPoE (IP over Ethernet) 方式が必要となる。

PPPoE 方式は ISP 事業者による IPv4 接続方式として運

用が始まり, 2011 年には IPv6 用の PPPoE 方式も運用が開始された。ISP 事業者が IPv6 を PPPoE 方式で提供する場合, フレッツ光網内の IPv6 プレフィックスと ISP 提供の IPv6 プレフィックスが利用者に払い出されマルチプレフィックス状態になるため, 利用者側に IPv6 アダプタ機能を別途追加する必要がある。そのため, フレッツ光で利用する IPv6 プレフィックスを契約事業者毎にて切り替えることで, 直接インターネットに接続できる方式も求められ, VNE (Virtual Network Enabler) 事業者による IPoE 方式が整備された。

IPoE 方式による IPv6 接続方式と合わせて, IPv4 接続方式も PPPoE 方式以外に, VNE 事業者による IPv4aaS (IPv4 as a Service) 技術 [7] が提供されており, DS-Lite[8] や MAP-E[9] 等による IPv4 over IPv6 形態のものが現在利用されている。すなわち, IPoE 方式では, ISP 事業者が VNE 事業者のサービスを利用してインターネット接続を提供する形態となり, 仲介者的な立ち位置となっている。

今回, 日本のインターネット接続形態として大勢を占めるフレッツ光利用によるアクセス網を中心に, 利用者の通信タイプを IPv4 および IPv6 の MSS 値を元に推測して分析を進める。表 2 に, 観測した IPv4/IPv6 それぞれの MSS により推定可能な通信タイプをまとめる。

## 4. 計測データの分析と考察

本論文では先に述べたインターネット通信品質計測 Web サービス “iNonius Speed Test”を用いて収集された計測データをもとに, 日本の一般的なインターネットアクセス環境の分析と考察を実施する。

はじめに, デュアルスタックでの計測が行われた計測試行をもとに, 同一計測試行内での IPv4 と IPv6 での通信品質の比較検証を行った。次に, ポピュラーなインターネットアクセス種別として, 1) 固定系ブロードバンド回線 2) モバイル回線の 2 つを例にとり, より詳細な分類と解析を実施した。

### 4.1 用語と前提条件

#### ● 通信品質計測結果

“iNonius Speed Test”では一度のクライアントのアクセスごとに, IPv4/IPv6 の両方での通信品質計測を試行する。それぞれの計測結果を通信品質計測結果と呼称する。

#### ● 計測試行

通信品質計測結果の組を 1 件の計測試行と定義する。例えば IPv4/IPv6 デュアルスタックのクライアントが正常に通信品質計測を完了すると IPv4 及び IPv6 通信品質計測結果が, IPv4 シングルスタックのクライアントがアクセスした場合 IPv4 の通信品質計測結果が 1 件の計測試行に含まれる。

\*2 IPinfo: <https://ipinfo.io>

表 2 フレッツ光における回線タイプ推定手法

Table 2 Access line type estimation method using MSS for Flet's HIKARI.

回線タイプ	MSS		説明
	IPv6	IPv4	
1) フレッツ光 IPoE + IPv4aaS	1,440	1,420	IPv6 は IPoE 方式, IPv4 は DS-Lite/MAP-E などのトンネリング方式
2) フレッツ光 IPoE + IPv4 PPPoE	1,440	1,414	IPv6 は IPoE 方式, IPv4 は NTT 網 PPPoE 方式
3) フレッツ光 PPPoE (dual)	1,394	1,414	IPv6 と IPv4 がいずれも NTT 網 PPPoE 方式
4) フレッツ光 PPPoE (IPv4 only)	—	1,414	IPv6 は利用しない, IPv4 は NTT 網 PPPoE 方式

表 3 全計測試行の IPv6 対応状況

Table 3 IPv6 adoption ratio for all measurement results.

分類	計測試行数	割合
有効な全計測試行	75,790	100%
IPv6 通信品質計測結果を含む計測試行	48,600	64.1%
IPv4 通信品質計測結果のみを含む計測試行	27,190	35.9%

● デュアルスタック計測試行

IPv4 及び IPv6 の両方による通信品質計測結果が記録された計測試行をデュアルスタック計測試行と定義する。

● シングルスタック計測試行

IPv4 もしくは IPv6 でのみ通信品質計測結果が記録された計測試行をシングルスタック計測試行と定義する。

4.2 全計測試行の概観

本論文で調査・分析を行う対象とする計測データは 2020 年 6 月 3 日から 2021 年 1 月 22 日までに記録されたものとする。分析対象として有効な計測試行は合計 75,790 件であった。そのうちデュアルスタック計測試行は 43,216 件, IPv4 シングルスタック計測試行は 27,190 件, IPv6 シングルスタック計測試行は 5,384 件であった。

また計測試行全体の IPv6 対応状況を表 3 に示す。“iNonius Speed Test”は IPv4/IPv6 デュアルスタックでそれぞれ計測可能なこともあり, 既存の IPv6 対応調査手法 [2] と比較して IPv6 対応のクライアントの割合が大きくなっていると推定される。

4.3 IPv4/IPv6 それぞれの通信品質の比較

本節ではデュアルスタック計測試行 43,216 件を対象に, IPv4 による通信品質計測結果と IPv6 による通信品質計測結果を比較する。

表 4 に IPv4/IPv6 それぞれの通信品質計測結果における上り速度・下り速度・通信遅延・ジッタの平均値を示す。計測結果に影響を及ぼす諸条件の多くが共通しているデュアルスタック計測試行全体において, 各計測項目が IPv4 より良好な計測結果が測定される傾向にあると言える。

図 2 に, デュアルスタック計測試行の各計測項目の IPv4/IPv6 の詳細な比較を示す。上り速度・下り速度の両項目は概ね IPv4/IPv6 間で相関関係にある一方で, IPv6

表 4 デュアルスタック計測試行での通信品質計測結果の要約

Table 4 Summary of the measurement results in the dual stack environment.

	上り速度 [Mbps]	下り速度 [Mbps]	通信遅延 [ms]	ジッタ [ms]
IPv4	86.55	82.21	10.70	1.47
IPv6	93.82	94.65	9.76	1.17

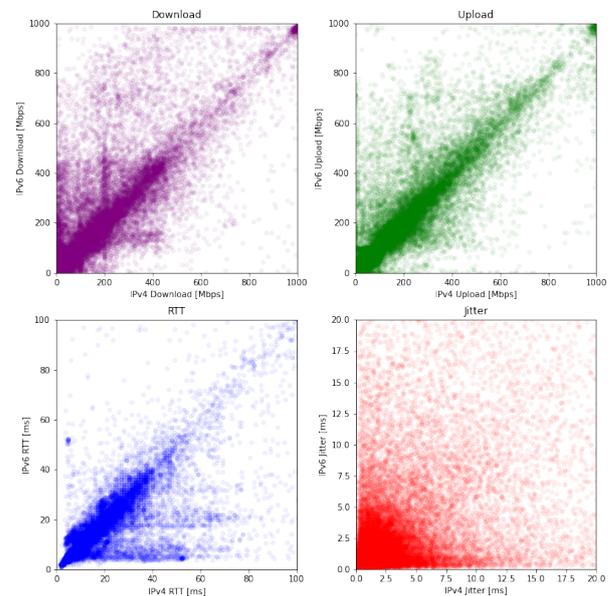


図 2 各計測項目における IPv4/IPv6 の比較

Fig. 2 Comparison of IPv4/IPv6 for each measurement item.

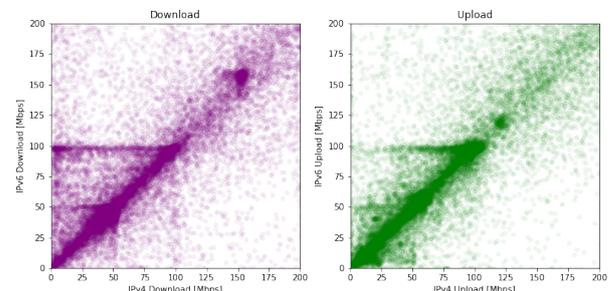


図 3 上り速度・下り速度の拡大図

Fig. 3 Enlarged view of Upload and Download.

の方がより良い結果が記録されている場合が多いことがわかる。通信遅延・ジッタに関しては IPv4 の値が IPv6 の値の数倍程度にもなる計測試行群の存在が色濃く現れてお

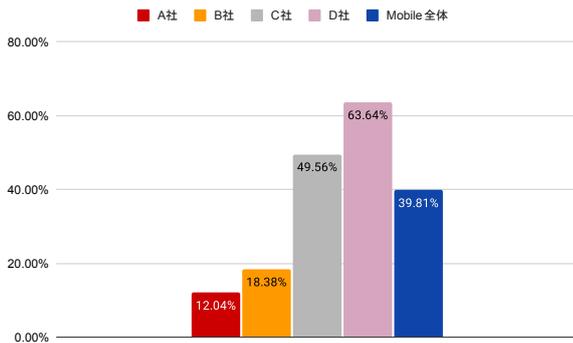


図 4 各モバイル回線事業者ごとの IPv6 対応率の比較

Fig. 4 Comparison of IPv6 adoption ratio for each mobile operator.

り、IPv4/IPv6 間で顕著な差が存在することが明らかに見て取れる。

図 3 に上り速度・下り速度をより拡大した図を示す。IPv6 が 100Mbps の部分で帯状にプロットされている結果が見て取れる。これは、物理的に 100Mbps が上限となっているネットワーク回線の存在を表していると考えられ、その原因の一つとしてマンションインターネット等で利用されている VDSL 環境ではないかと推察できる。また、下り速度においては、IPv4 と IPv6 双方が 160Mbps である計測結果が多く観測されていることも読み取れる。CATV のサービスとして 160Mbps 上限のプランが存在しており、その利用者による計測結果の集団であると考えられる。

#### 4.4 より詳細な分析

本研究が提案する計測手法により収集可能な調査項目を組み合わせて利用することで、回線タイプにまつわる詳細な比較・分析を行うことが可能になる。

本節ではその一例として、モバイル回線の IPv6 対応状況の可視化とフレッツ光サービスの回線タイプによる通信品質の差異について述べる。

##### 4.4.1 モバイル回線の IPv6 対応状況

クライアント端末の IP アドレスを日本の大手携帯事業者 4 社<sup>\*3</sup>が公開しているアドレスレンジ [10], [11], [12], [13], [14] もしくは Whois 情報と照らし合わせることで、この計測が行がモバイル回線から行われているかどうかを推定することができる。

図 4 に各モバイル回線事業者であることが推定可能な計測試行に対する、それぞれのデュアルスタック計測試行の割合を示す。第 4.2 節で述べた全計測試行モバイル回線全体の IPv6 対応率は 4 割程度になっているが、事業者によって IPv6 対応状況はかなりの差があることが見て取れる。

<sup>\*3</sup> NTT ドコモ <https://www.nttdocomo.co.jp/>,  
KDDI <https://www.au.com/mobile/>,  
ソフトバンク <https://www.softbank.jp/mobile/>,  
楽天モバイル <https://network.mobile.rakuten.co.jp/>

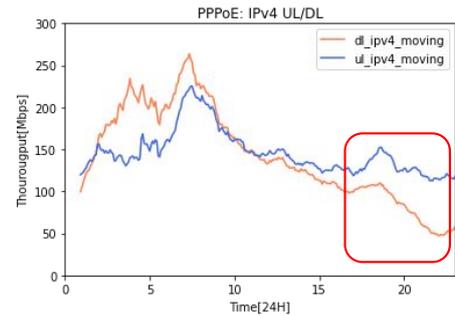


図 5 フレッツ光 PPPoE 方式による時間帯ごとの IPv4 上り速度・下り速度の比較

Fig. 5 Comparison of IPv4 download and upload by time frame in FLET'S Hikari PPPoE.

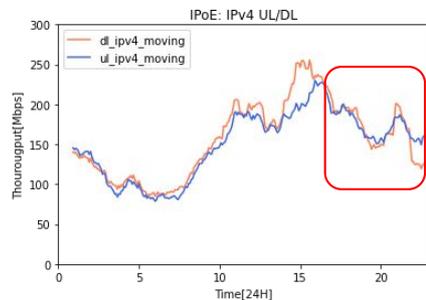


図 6 フレッツ光 IPoE 方式による時間帯ごとの IPv4 上り速度・下り速度の比較

Fig. 6 Comparison of IPv4 download and upload by time frame in FLET'S Hikari IPoE.

#### 4.4.2 フレッツ光サービスの回線タイプによる時間帯による通信品質の比較

本節では固定系ブロードバンドサービスの例として最もポピュラーなサービスであるフレッツ光を取り上げ、なかでも“フレッツ光 IPoE (IPv4aaS)”と“フレッツ光 IPv4 PPPoE”の 2 つの通信タイプの IPv4 の通信品質計測結果を比較する。

表 5 に両回線タイプの本節で分析対象とする計測試行数を示す。また図 5、図 6 は両回線タイプの時間帯による IPv4 上り速度・下り速度について、計測時刻を 5 分ごとにグループ分けしたものを 60 分の移動平均で表したものである。IPv4 PPPoE が 18 時～24 時のピーク時間帯に品質が悪化しているのに対して、IPoE (IPv4aaS) は前者ほど大きな劣化をしておらず、ピーク時間帯にも安定した通信品質が期待できることがわかる。

## 5. おわりに

本稿では、我々が構築・運用している、IPv4/IPv6 デュアルスタックによるユーザのインターネット品質を計測

表 5 分析対象とするフレッツ光の回線タイプと計測試行数  
Table 5 Number measurement of data for PPPoE and IPoE (IPv4aaS) in FLETS Hikari

回線タイプ	計測試行数
a) フレッツ光 IPoE (IPv4aaS)	12,817
b) フレッツ光 IPv4 PPPoE	14,865

する Web サービス“iNonius Speed Test”に関して解説し、収集した計測結果を用いて日本の IPv6 インターネット・IPv4 インターネットの通信品質の網羅的な比較を行った。

本研究の成果として、多くのデュアルスタック環境において IPv4 より IPv6 による通信のほうが高品質であることがわかったほか、多種多様な調査項目を組み合わせることで、モバイル回線の IPv6 対応率や FTTH の回線タイプによる時間帯ごとの品質の差異などを推定できることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] IPv6 普及・高度推進協議会：日本における IPv6 の普及状況, IPv6 普及・高度推進協議会 (オンライン), 入手先 (<http://v6pc.jp/jp/spread/ipv6spread.phtml>) (参照 2021-01-20).
- [2] Google: IPv6 statistics, , available from (<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>) (accessed 2021-01-28).
- [3] 北口善明, 伊波源太, 永見健一: HTTP 通信を利用した IPv4 と IPv6 のネットワーク環境比較, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-IOT-12, No. 16, 情報処理学会, pp. 1-6 (2011).
- [4] 総務省: 令和 2 年度版 情報通信白書～5G が促すデジタル変革と新たな日常の構築～(2020).
- [5] 北口善明, 伊波源太, 永見健一: HTTP 通信からみた IPv4 と IPv6 通信遅延の比較評価, 信学技法, Vol. 110, No. 206, IA2010-37, 電子情報通信学会, pp. 29-35 (2010).
- [6] 株式会社 MM 総研: ブロードバンド回線事業者の加入件数調査 (2020 年 3 月末時点), 株式会社 MM 総研 (オンライン), 入手先 (<https://www.m2ri.jp/release/detail.html?id=424>) (参照 2021-01-20).
- [7] Palet, J., Liu, H. M.-H. and Kawashima, M.: Requirements for IPv6 Customer Edge Routers to Support IPv4-as-a-Service, RFC 8585 (2019).
- [8] Durand, A., Droms, R., Woodyatt, J. and Lee, Y.: Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion), RFC 6333 (Proposed Standard) (2011).
- [9] Troan, O., Dec, W., Li, X., Bao, C., Matsushima, S., Murakami, T. and Taylor, T.: Mapping of Address and Port with Encapsulation (MAP-E), RFC 7597 (Proposed Standard) (2015).
- [10] NTT ドコモ: sp モードサーバ情報, , 入手先 ([https://www.nttdocomo.co.jp/service/developer/smart\\_phone/spmode/index.html](https://www.nttdocomo.co.jp/service/developer/smart_phone/spmode/index.html)) (参照 2021-01-28).
- [11] KDDI: ネットワークの接続条件, , 入手先 (<https://www.au.com/developer/android/kaihatsu/network/>) (参照 2021-01-28).
- [12] ソフトバンク株式会社: Web 技術情報, , 入手先 ([https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner/home\\_tech1/index.cfm](https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner/home_tech1/index.cfm)) (参照 2021-01-28).
- [13] ソフトバンク株式会社: iOS IP アドレス, , 入手先 ([https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner\\_st/home\\_tech1/ios/index.cfm](https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner_st/home_tech1/ios/index.cfm)) (参照 2021-01-28).
- [14] ソフトバンク株式会社: X シリーズの IP アドレス, , 入手先 ([https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner\\_st/home\\_tech1/X\\_series/index.cfm](https://www.support.softbankmobile.co.jp/partner_st/home_tech1/X_series/index.cfm)) (参照 2021-01-28).