

3-5 光テレホン JJY

3-5 Hikari Telephone JJY

今村國康 齊藤春夫

Kuniyasu IMAMURA and Haruo SAITO

本稿では、情報通信研究機構 (NICT) における標準時の供給手法のうち、電話回線を用いた供給システムについて紹介する。電話回線による時刻供給は従来のアナログ電話回線を用いた手法で永らく利用されてきているが、電話回線網のデジタル化 (次世代ネットワーク: Next Generation Network) への対応が必要となった今日における、新たな方式の供給手法を開発し実用に導いた。このシステムについて解説を行う。

In this paper, we introduce a time dissemination system using a telephone line in the NICT standard time dissemination method. Though time dissemination via telephone line has been carried out by using conventional analog telephone lines for a long time, it became necessary to develop a new method currently. Here we explain a new dissemination method of digitalization (Next Generation Network) which we developed and led to practical use.

1 まえがき

NICT は、日本標準時の発生・維持・供給の業務を行っており、そのうちの標準時の供給の手法としては、標準電波、電話回線、ネットワーク等により行われている。電話回線を利用した供給方法としては、1995年からサービスを開始したテレホン JJY と呼ぶ電話回線による時刻供給システムが使われており、NTT の 117 時報に使われる親時計や、放送局における親時計等の時刻同期等に用いられており、現在では月間アクセス数が 17 万件に至っている。しかし本システムは、アナログ電話回線を使用したものであることから、現在ではアナログ電話回線用モデムが入手困難となってきていることや、電話回線自体も NGN (Next Generation Network) によりデジタル化されてきており、利用する回線によっては時刻同期精度に影響があることなどから、次世代型の電話回線による時刻供給について検討を行ってきた。その結果、光電話回線を使った新しいシステムを開発し、実験運用を経て 2019 年に実運用を開始するに至ったので、この新たな時刻供給システム (光テレホン JJY) について、構成と内容を報告する。

2 アナログ電話回線によるテレホン JJY

2.1 テレホン JJY のシステムと利用の状況

テレホン JJY (図 1) とは、電話回線による標準時供給システムの愛称として使われているもので、公衆回線網を利用した時刻供給のサービスである。このサービスは 1995 年から開始され、電話回線の双方向性を



図 1 テレホン JJY システム

3 日本標準時システム

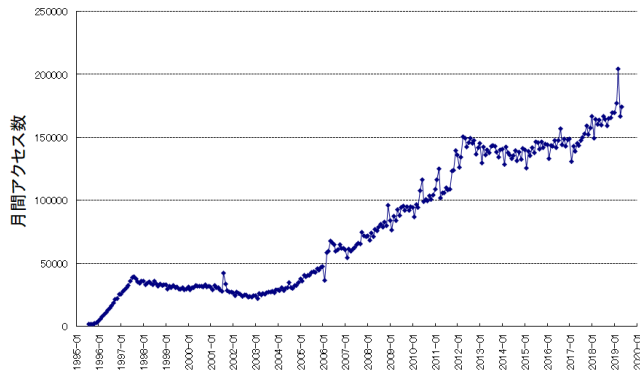


図2 テレホン JJY 利用度月別変化

用いて 1 ms 以内の時刻同期を実現できるシステムとして、放送局をはじめ、金融関係等も含めた多様な所で利用されてきている。

テレホン JJY の利用は公開しており、利用にはアカウント ID が必要であるが、公開 ID または登録 ID いずれの形態でも利用可能である。利用されている実績(図2)としては、月間アクセス数 17 万件強(2019 年 5 月実績)であり、そのうち登録 ID によるアクセス数は 2,500 件ほどであるため、多くの利用は公開 ID(不特定)利用者である。そのため、登録 ID 以外の利用者における利用の用途は、うかがい知ることのできない範囲である。一方、登録 ID 利用者は主として放送局等であり、マスタクロック同期に用いられていると推定される。ただし、電話は発信者を特定していないので、その利用の詳細は不明である。

2.2 テレホン JJY の問題点

電話回線を利用した時刻比較の手法は、1980 年代に音響カップラとタイムインターバルカウンタによる国内実験 [1] が行われ、 $\pm 200 \mu\text{s}$ の精度で得られている。サービス開始当初まで電話回線としてはアナログの交換接続網が想定されており、1 ms の精度は十分確保されていたが、その後のいろいろな電話回線網の接続により、その形態によっては期待する精度が得られない事象が見受けられるようになってきている。また、サービス開始から 30 年以上の年月がたち、アナログ公衆回線網接続に使うモデム装置は国内では既に製造されなくなってしまっている。使用するモデムは時刻供給の精度に影響するため、ホストシステムで使用しているモデムを他のモデムに安易に代替することはできず、設備の維持にも支障となる状況となっている。

使用するモデムの違いによる時刻同期の確かさについては、既に報告 [2] しているとおおり、1 ms を逸脱するものが存在する。また、使用する電話回線についても、アナログ公衆回線以外のデジタルによる

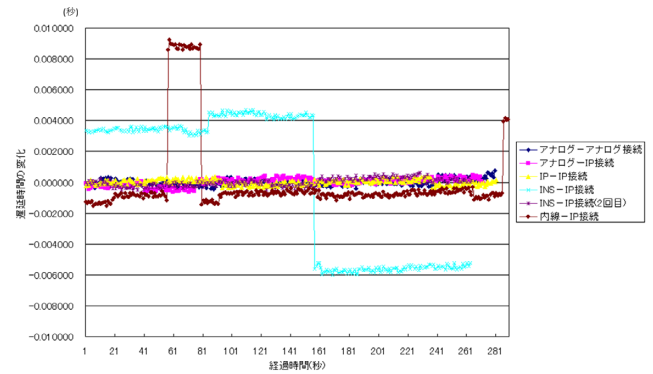


図3 回線往復時間の時間変化

ISDN(Integrated Services Digital Network)回線(ターミナルアダプタによるアナログ変換)を使用したものや、IP(Internet Protocol)電話回線(アダプタによるアナログ変換)といった回線からもテレホン JJY システムへの接続は可能であるため、利用者の意図した時刻同期の確かさが得られない可能性がある。

図3は使用した電話回線の違いによる、往復遅延量を計測した結果である。電話回線としてはアナログ公衆回線、INS回線^{*1}(Information Network System)、IP電話回線^{*2}の組合せで計測したもので、結果は一例であるが、特にIP電話回線を使った接続では接続の途中で遅延時間が大きく(約 10 ms 程度)変化する場合がある。テレホン JJY の同期は、その原理から伝送路遅延時間が一定、かつ、往路、復路の遅延時間が同じであることが必要である。遅延時間の変化や往路、復路での違いが生じると時刻同期の確かさの劣化につながる。

表1はIP電話回線を除いたアナログ回線、INS回線及びNICTの内線電話回線(デジタル收容回線交換機)を利用した場合の、往路遅延、復路遅延の計測結

表1 往路と復路の遅延差(非IP接続)

INS→内線接続	0.034448	内線→INS接続	0.033133
INS→内線接続(2回目)	0.031674	内線→INS接続(2回目)	0.033456
平均	0.033061	平均	0.033295
		往復の差	-0.000234
アナログ→アナログ接続	0.024104	アナログ→アナログ接続	0.024021
アナログ→アナログ接続(2回目)	0.024129	アナログ→アナログ接続(2回目)	0.024005
平均	0.024116	平均	0.024013
		往復の差	0.000103
INS→アナログ接続	0.056213	アナログ→INS接続	0.044535
INS→アナログ接続(2回目)	0.055404	アナログ→INS接続(2回目)	0.044669
平均	0.055809	平均	0.044602
		往復の差	0.011206

値は遅延時間(秒)

*1 NTT による ISDN 回線サービス

*2 ここでは、ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line、非対称デジタル加入者線)による IP 電話を使用

果とその差を示したものである。使用した回線は NICT 本部同一拠点のもので、そこからの計測であるので、交換局折り返しでの経路と考えられる。この計測結果からは、同一の回線（アナログ回線どうし、INS 回線どうし）であれば、往路と復路の遅延差は 1 ms より十分小さく、同期確度に与える影響は少ない。異なる回線（アナログ回線と INS 回線）では、往路と復路の遅延差が 10 ms を超えており、この値の 1/2 である 5 ms 以上の同期確度劣化につながる事が明らかとなった。

以上のとおり、現行のテレホン JJY では利用者側において使用するモデム、電話回線によってはそれだけで同期確度が十分に得られないケースが存在するが、利用者においてその状況を判断することは通常できないため、1 ms の同期確度を期待しながら、意図しない時刻の状態で利用しているケースが想定される。

2.3 NGN への移行

NTT 等による PSTN (Public Switched Telephone Networks : 公衆交換電話網) マイグレーションが進められており、テレホン JJY が利用している従来のアナログ電話回線は無くなり IP 網へと切り替わりつつある。NGN では、IP 網を使用して PSTN から IP 電話へ移行される。NTT の 2017 年の計画では、加入者交換機設備が 2025 年頃に維持の限界を迎えるため、2021 年から PSTN から IP 網接続へ移行するとスケジュールを示した [3]。

利用者側電話回線またはテレホン JJY システム側電話回線が従来のアナログ回線接続であっても、マイグレーションにより接続形態は変更されることとなる。変更が行われることとなっても、アナログ-デジタル変換で、電話接続としてのサービスはそのまま継続される。アナログ-デジタル変換自体は NTT 内で行われるため、利用者は従来と同様に（インターフェイスとしてはアナログ回線として）利用できるが、通信路上で見るとアナログ-IP 網-アナログと複数回の変換を経て接続されることになる。さらに、NTT 以外の他事業者との接続も IP で行われ、移行の途中では発着の経路が異なることも想定される。このような回線における遅延時間の変化を評価することは、なかなか難しい。

時刻同期の上で回線遅延の評価が重要であることは、既に述べているところであり、アナログ回線が NGN へ移行することによる影響の把握は今後更に調査を進めていく必要があると考えられる。

3 光電話回線による新たな手法

3.1 新方式の開発経緯

前項のとおり、NTT は公衆回線網を NGN に移行する計画である。さらに、現行のアナログ回線を使うテレホン JJY 方式（以下、従来型テレホン JJY という。）は、モデムの問題、回線の問題、設備維持保守の問題等があることから、NICT では新しい時刻供給の方式について開発を進めてきた。

NTT は 2010 年に「PSTN のマイグレーションについて」を報道発表 [4] し、PSTN から IP 網への切替を示した。NICT では、同時期にはテレホン JJY の同期確度の問題について把握し、次世代型のテレホン JJY 開発の必要性について言及 [2] した。

しかしながら、開発にかかるリソースも十分ではない中、NGN 網である光電話回線を利用した時刻同期は従来型テレホン JJY の代替となり得るのかということから調査を進めていくこととなった。

3.2 NGN 回線とデータコネク

従来型テレホン JJY の利用者は、①時刻同期の確かさへの要求は 1 ms 程度、②電波時計等の受信不安定要素のない環境またはアンテナを立てられない環境、③インターネットなどは利用したくないセキュア環境、④必要ときだけ接続する従量型、⑤必要とする情報は日本標準時または日本標準時にトレーサブルな時系、のいずれかまたは複数を要求していると考えられる。この点からも、電話回線を使う時刻同期法のサービス継続は意義のあるものとする。したがって、従来型テレホン JJY と同等以上のサービスが可能となる手法が必要となる。

NTT の PSTN マイグレーション発表同年の 2010 年 5 月には、NTT は NGN 網であるフレッツ網による「ひかり電話」サービスに、電話番号を利用した帯域確保型のデータ通信サービス「データコネク」を提供すると公表 [5] した。このデータコネクは常時接続とは異なり、電話番号を用いたセキュアかつ帯域確保されたデータ通信を可能とするものである。この点はインターネット接続のような形態とは大きく異なる点である。

データコネクの特長として NTT が掲げている内容は、①簡易な操作でセキュアな通信、②帯域確保による安定したデータ通信、③データ通信に適した短時間課金、である。従来型テレホン JJY と同様に電話番号で 1 対 1 での通信が可能で、課金については従来の通話料に比べて低廉化できるので、この点は利用者にメリットが生じる内容である。「安定したデータ通信」が可能か否かは、実際に時刻同期に活用できるの

3 日本標準時システム

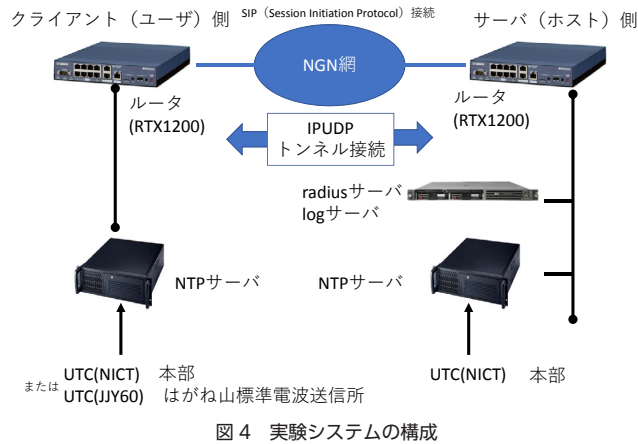


図4 実験システムの構成

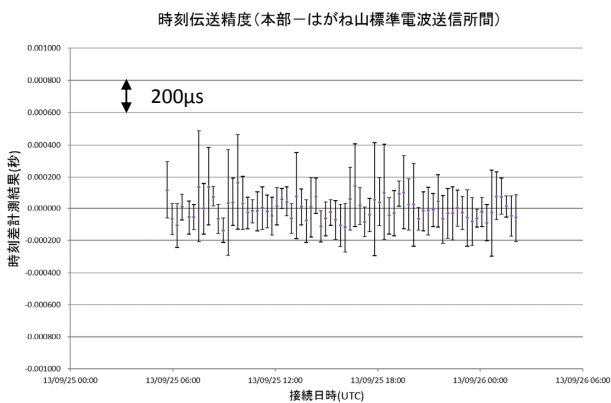
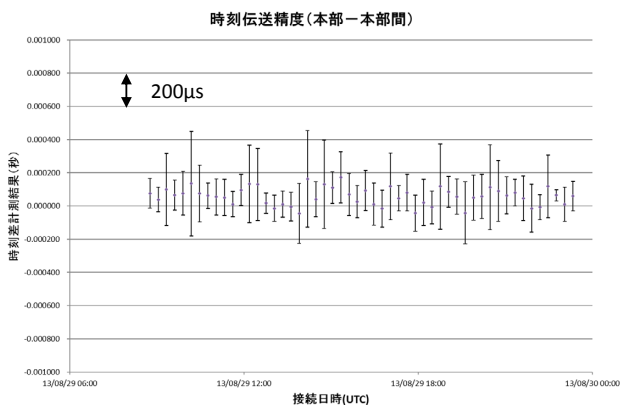


図5 実験結果

か評価してみないと分からないところであり、実験によるデータ取得を試みた。

3.3 データコネクトによる時刻同期実験

NTTのフレッツ（光回線）に関しては、NICTにおいては既に拠点間（NICT本部 - 標準電波送信所）のネットワーク接続で利用していたため、ひかり電話サービスの追加による、既存の回線設備を利用した評価実験から始めることとした。また、時刻同期の確かさ計測には、NICTが開発したNTP stratum1サーバ[6]を利用することで、1 μs 分解能での計測を可能

とした。

実験のシステム構成を図4に示す。拠点間をNGN網のデータコネクトで接続し、ルータのトンネル接続機能で相互のNTPサーバを接続した。NTPサーバにはそれぞれ拠点の基準時刻信号（NICT本部ではUTC(NICT)、標準電波送信所においては送信所の原子時計で作られた基準時刻信号）を使用した。相互の基準時刻信号の差は数十ナノ秒以内で維持されているので、実験でのミリ秒計測には全く影響しないといえる。計測はNTPのパケットタイムスタンプを使用して時刻差から時刻伝送の確かさを求めた。1回の接続において10個のNTPパケットを送出し、計測を行った。

図5はその実験結果で、本部-本部間、本部-はがね山標準電波送信所間の計測結果を示す。実験結果より、以下の結果が得られた。

- ①各回接続のパケット平均値は200 μs 以内の確かさが得られた。
- ②各回接続の各パケットによる計測時刻のばらつきは、95%値で約400 μs が得られた。
- ③本部-本部間（回線の遅延時間1.5 ms程度）、本部-はがね山標準電波送信所間（同13 ms程度）でも得られた時刻の確かさは同等であった。

以上のことから、目標とするミリ秒以下での時刻同期の確かさは十分達成可能と判断された。

なお、データコネクトの最小課金単位である接続時間（30秒）には十分余裕があるので、より多くのパケットを使い平均化処理をすることで確かさの向上を図ることが可能と考えられる。

3.4 共同研究とシステムデザイン

データコネクト回線の評価実験により、時刻同期システムへの利用が可能と判断されたため、実用化に向けたシステムのデザイン、通信プロトコルの決定や実証実験装置による検証を進めることとした。予算確保のため機構内のインセンティブ調査研究制度を利用して実証実験装置の費用を捻出するとともに、クライアント装置の開発のために共同研究の相手先を求めた。その結果、セイコーソリューションズ株式会社がその相手先となり、2014年から2017年3月末まで共同研究を実施した。

時刻同期の確かさの検証に関しては、拠点数を増やして再検証を行った。表2は5箇所の拠点を使っでの計測結果である。いずれの地点においても200 μs 以内での確かさで計測が行えていることを確認[7]した。また、その値と拠点間の距離相関は見受けられなかった。

使用する通信プロトコルとしては、汎用性のある

表 2 NICT 本部（サーバ）との時刻同期計測結果

	平均往路遅延 (秒)	平均復路遅延 (秒)	平均遅延差 (秒)	平均時刻差 (秒)	直線距離 (km)	平均遅延 (秒)
NICT本部(東京都)	0.001874	0.001538	0.000336	0.000168	0.8	0.001706
セイコーソリューションズ (千葉県)	0.003253	0.002884	0.000369	0.000184	50	0.003069
おおかどや山 (福島県)	0.008531	0.008306	0.000225	0.000112	221	0.008419
未来ICT研究所 (兵庫県)	0.010620	0.010415	0.000205	0.000103	427	0.010518
はがね山 (福岡県)	0.013657	0.013466	0.000191	0.000096	887	0.013562

表 3 提供情報の差異

提供情報	従来型テレホンJJY	光テレホンJJY
時刻情報	日本標準時、協定世界時をコマンドにより選択 分解能：秒単位（秒に同期したASCII文字列を送出）	NTP Time のタイムスタンプ 秒以下の分解能：32ビット（約0.2ns） サーバ分解能は4ns
うるう秒予告情報	あり	あり
ローカルタイム	サマータイム対応 実施期間：日単位 協定世界時との時差：時単位	NTPパケット拡張によりサマータイム情報提供 実施期間：開始・終了日時(NTP Time) 協定世界時との時差：時単位
インフォメーション	あり	なし (Web等で提供する予定)
ヘルプ機能	あり（コマンド一覧表示）	なし

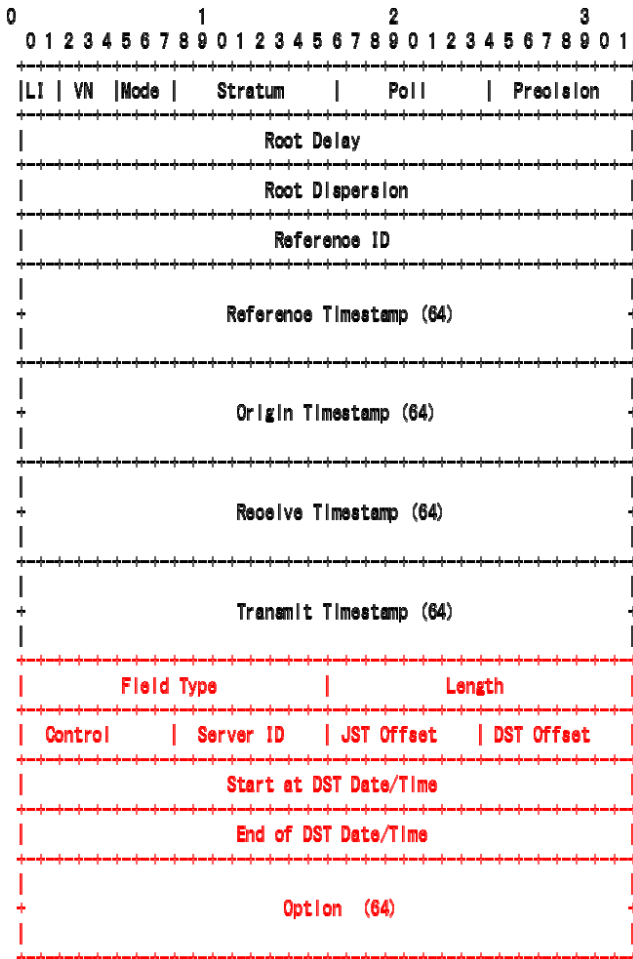


図 6 拡張 NTP パケットのフォーマット

NTP パケットを基本とすることとした。これにより通常の Linux 計算機による NTP クライアント等も利用が可能となることを配慮した。ただし、NTP パケットに含まれる時刻情報は UTC に準拠した NTP Time であるため、従来型のテレホン JJY で提供している日本標準時等が得られないことになる。この他にも、

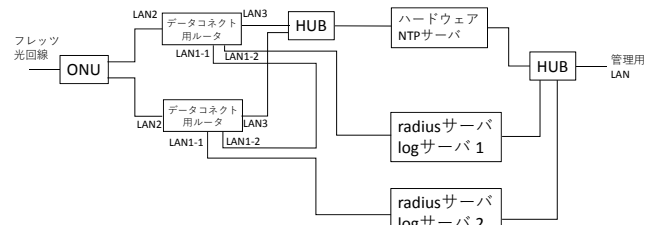


図 7 光テレホン JJY ホストシステム構成図

将来の対応としてサマータイムなどが行われた場合の対応も NTP パケットでは得られないので、情報の追加を行うこととした。

幸いなことに、NTP パケットには Extension Field が規定されているのでこの拡張エリアを使うこととした。サーバ(ホスト側)は、拡張されていない通常の NTP パケットを受け取った場合はそのまま通常の NTP パケットで返し、拡張 NTP パケットで送られてきた場合のみ、サーバは拡張エリアに情報を含めて応答するようにした。これにより従来の NTP ソフトウェアとの互換性が得られている。

拡張エリアのフォーマットを図 6 に示す内容と定めた。これにより、クライアントは日本標準時、サマー

3 日本標準時システム

タイムに関する情報や、サーバの識別*3 等の他、将来の拡張も可能とした。提供する情報の従来型テレホン JJY との差異を表3に示す。

図7は光テレホン JJY ホストシステムの構成図である。データコネク用ルータはひかり電話回線の数に応じて増設する。RADIUS サーバ、log サーバはアカウントの管理とログの管理を行い2台で冗長構成としている。データコネクは電話番号による認証で接続を行うので、発信者の電話番号によるアカウント認証をRADIUSにより行っている。NTPサーバにはNICTで開発されたハードウェアサーバ[8]を用いている。このサーバは公開NTPで使用されているものと同様のものなので、高速処理が可能であるが、ここではその耐クラッキング性能を發揮させている。また、情報の追加のために拡張NTPパケットに対応するよう改修が行われている。このNTPサーバの時刻は日本標準時の基となるUTC(NICT)信号が直接与えられている。なお、複数のルータからのアクセスを1台のNTPサーバで処理しているが、これはこのハードウェアNTPサーバがIP動作ではなく、MAC(Media Access Control)アドレスにより問い合わせがあったルータに対して応答しているため可能となっている。

共同研究による実証実験では、本システムの構成で安定運用が可能か、複数同時着信対応が可能かなどについて検証した。システムは安定に稼働し、さらに共同研究先のセイコーソリューションズ(株)から光テレホン JJY に対応したクライアント装置を供給する目処が立ったことから、実験システムを公開して運用[9]を行うこととした。

3.5 時刻同期上の問題点

時刻同期の上で回線の遅延は重要な影響を与える。これまでの実験においてデータコネク回線の遅延(上り、下りの相対性や遅延変動)は、ミリ秒の確かさへは大きな影響を与えないレベルであった。しかし、データコネク回線は帯域確保型であるため、逆にみると帯域制限されていることになる。光テレホン JJY では、データ伝送量は多くを必要としないため、最小の課金単位である帯域 64 kbps に固定している。一方、利用する機器はこれに対して非常に高速な通信が行える機器ばかりである。このため、クライアント装置はNTPパケットデータを連続して多数送ろうとした場合、データコネクの帯域を容易に超えてしまう[10]。

図8は連続してパケットを送出した場合に帯域制限がかかり、結果として見かけ上、伝送遅延が起きる様を示している。このように帯域制限にかかると、遅延時間が 10 ms といった値で変化してしまうので、得られる時刻同期の確かさもその値の 1/2 である 5 ms 程度のエラーとして現れてしまうことを利用者側は認識しておく必要がある。この現象による時刻同期エラーは、ホスト側では検知も対応もできないので、クライアント装置は帯域を超えないようにパケットを送出するようにしなければならない。なお、ホスト側は

*3 システムは冗長化する予定であるので、クライアントがどのサーバを参照したか識別できる機能として用いる。

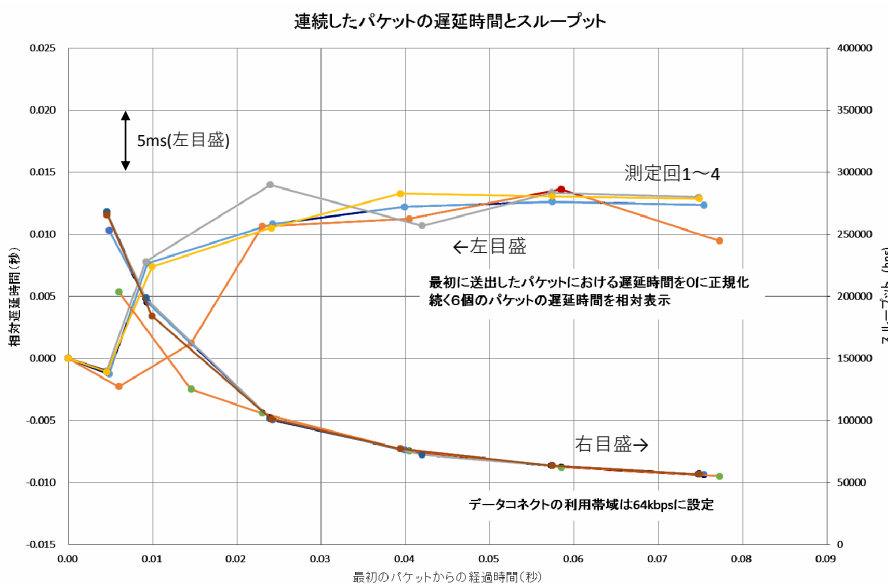


図8 帯域制限と遅延



図9 光テレホン JJY システム

クライアントからのパケットに同じデータ量で応答するだけなので、下り回線で帯域制限が発生することはない。

4 運用

4.1 実験運用

実験運用は2016年5月に開始し、その後、利用登録数は約20ユーザ(利用者回線数)で運用が行われた。実験運用期間中におけるトラブルはほとんど無く、認証サーバのトラブルが発生した程度であった。しかし、サーバは冗長構成であるので、運用に支障なく対応は行えている。2017年3月にはホストシステムを神戸副局にも設置し、2箇所からの供給が行えるように対応を行った。利用者はホストを電話番号で選択利用することが可能となった。ホストの分散化で、従来型テレホン JJY では行えていなかった広域災害などによるサービス停止のリスク低減が可能となった。

4.2 実運用システムとサービス

実験運用システムは、バラック的に組み上げて使用してきたものであるため、実運用のためのシステムを新たに構築した(図9)。実運用のシステムは実験システムと構成は同一であるが、ユーザ登録やログ管理などの操作を容易に行えるように、専用のソフトウェアを準備した。実験運用期間約3年を経て、2019年2月より正式な時刻供給サービスとして開始[11]した。本稿執筆時点では正式運用開始から間もないが、実験運用期間からのアクセス数は図10(本部ホストのアクセス数のみ)に示すように、順調に伸びている。

共同研究を行ったセイコーソリューションズ(株)では、正式運用開始に合わせてクライアント端末の提供にとどまらず、「タイムマネージドサービス」[12]と称して遠隔監視も行えるサービスの提供を開始している。

なお、NICTでは、従来型テレホン JJY は2024年3月末に運用を終了する予定である[11]。

4.3 今後の課題

光テレホン JJY は、従来型テレホン JJY と比べると利用回線がNTTのひかり電話回線に限定されることや、電話番号認証であることから登録利用が必須なことといった点があるので、利用の自由度は低くならざるを得ない。しかし、それを上回る安定利用や安全な利用が可能となると考えている。今後、利用が増加するとき、十分な安定性が得られているか、システムの再点検は必要となろう。

また、従来型テレホン JJY 利用者がスムーズに移行できるような方策も必要となると考える。例えば、既存のテレホン JJY 端末装置にアダプタ等を付ければ、そのまま利用できるようにする技術などである。原理的には十分可能であるが、コスト面で成立するかが難しいところと考える。低廉化できるような開発が行えればと思う。

さらに、NTTのNGN網が他事業者と相互接続されるようになった場合、データコネク回線がどのようになるかなど、不明な要素があるので、その都度回線評価や対応は必要になるであろう。

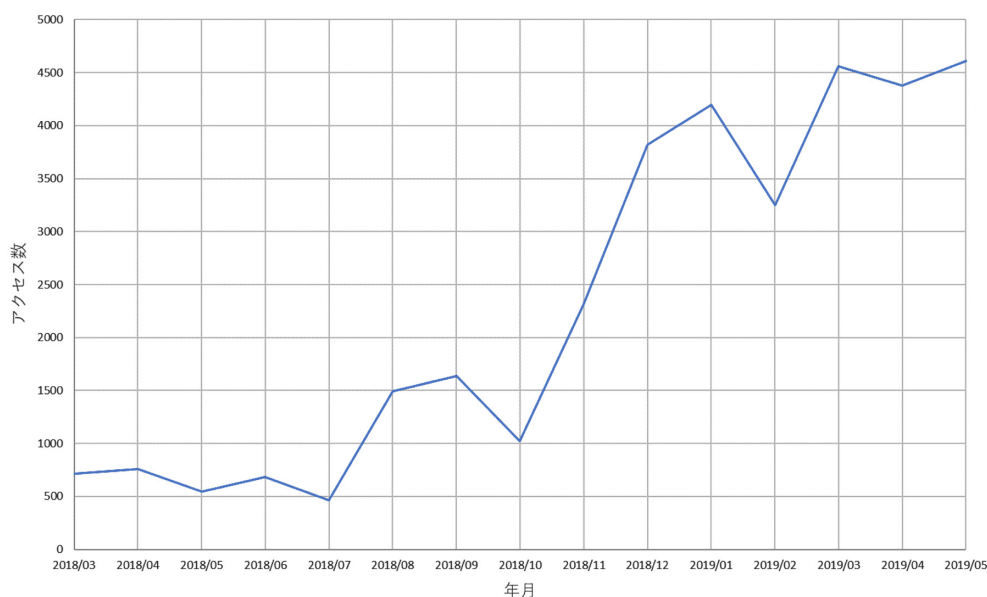


図10 アクセス数

5 まとめ

光テレホン JJY は、従来型テレホン JJY の問題点の把握や NGN 移行の課題に直面してから 9 年ほどがかかったが、実サービスへと移行できた。今後は安定に運用できるよう、運用面での習熟やノウハウの蓄積が必要となると考えている。

謝辞

共同研究を行ったセイコーソリューションズ(株)をはじめ、開発にご協力を頂いた方々に感謝いたします。

【参考文献】

- 1 相田政則, 佐藤得男, 山森聡, “電話回線による精密時刻比較,” 電波研季報, vol.31, no.160, Sept. 1985.
- 2 今村國康, “日本標準時の運用と供給,” 情報通信研究機構季報, vol.56, nos.3/4, Sept./Dec. 2010.
- 3 NTT, “固定電話の IP 網移行後のサービス及び移行スケジュールについて,” 情報通信審議会 電気通信事業政策部会 電話網移行円滑化委員会 (第 28 回), April 6, 2017.
- 4 NTT, “PSTN のマイグレーションについて,” 報道発表, Nov. 2, 2010.
- 5 NTT, “「ひかり電話」を利用した帯域確保型データ通信サービス「データコネクト」の提供および大容量・多チャネルでの通信を実現する「ひかり電話ナンバーゲート」の提供について,” 報道発表, May 31, 2010.
- 6 今村國康, 後藤忠広, “NTP による時刻同期,” 通総研季報, pp.59-63, March/June 1999.
- 7 今村國康, 岩本哲也, “データコネクト回線を利用した時刻供給,” 電気学会全国大会, May 2015.
- 8 鳥山裕史, 町澤明彦, 岩間司, “ハードウェア NTP サーバの開発,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J89-B, no.10, pp.1867-1873, 2006.
- 9 NICT, “光電話回線を利用した時刻供給実験運用を開始,” プレスリリース, 2016. 5. 26.
- 10 今村國康, “新しい標準時供給法 光テレホン JJY,” QUNOG 8, June 2017.
- 11 NICT, “光電話回線を利用した時刻供給サービス「光テレホン JJY」を開始,” プレスリリース, 2019. 1. 28.
- 12 セイコーソリューションズ, “新時刻ソース「光テレホン JJY」正式運用開始にあわせて「セイコータイムマネージドサービス」を提供,” ニュースリリース, Jan. 29, 2019.



今村國康 (いまむら くによす)

電磁波研究所
時空標準研究室
標準時、周波数標準



齊藤春夫 (さいとう はるお)

電磁波研究所
時空標準研究室
マネージャー
時間・周波数計測