

CX750A ネットワークエミュレータの開発

Development of CX750A Network emulator

深川 義裕 Yoshihiro Fukagawa, 田村 哲也 Tetsuya Tamura, 加藤 豊行 Toyoyuki Kato,

[要 旨] 多種多様なネット対応機器の通信試験環境を PC 一台で実現するという、新しいコンセプトに基づく“CX750A ネットワークエミュレータ”を開発した。ビルネットワークを想定した複雑かつ大規模な環境や、IPv6 による異常通信動作の再現など、さまざまな試験ネットワークのエミュレーションにより、お客様の試験環境構築に係るコストの削減、機器品質の向上を実現した。

[Summary] We developed CX750A Network Emulator which is communication test tool intended to evaluate wide variety of network devices, under continuous spreading of network applications in recent years. The Network Emulator can construct environment for test of network devices with one PC. Network Emulator allows user to build complex and large-scale test network environment. As the result it helps to improve quality of products and reduce labor costs as well.

1 まえがき

1990 年代、インターネットの急激な普及・拡大によって関連機器とサービスの低廉化が進み、誰もが高速なネットワーク環境を安価に利用できるようになった。その後も、さらに進化と拡大は続き、あらゆる産業と生活の場にさまざまな形でネットワーク化の波が押し寄せ、新たな製品やサービスが生み出され続けている。これに呼応するように技術規格の標準化や高機能な開発ツールが普及し、多機能かつ完成度の高いネット対応機器を比較的に短期間で設計・実装することが可能となった。

しかし、これらネット対応機器の試験・評価の現場では、従来実施していた通信機能試験の他に、複雑化したネットワーク環境で発生する、様々な事象に対する複合的な試験・評価の実施が必要となってきた。

これまでは、高度な知識とスキルを持つ一部のエキスパートが製品開発から試験・評価までのすべてをこなし、そこで必要となる試験用ネットワークやツール類は自らが構築し自作するケースが多かった。しかし、ネットワーク環境が急速に拡大し、多種多様な製品にネットワーク通信機能が実装される現在では、これを支え担うべきエキスパートの増加が十分とは言えず、高度な知識・スキルを持たなくとも、簡易に試験ネットワークを構築でき、ネット対応機器の網羅的な試験・評価が実現できるソリューションが求められていた。

これらを背景とし、CX750A ネットワークエミュレータを開発した。

2 開発方針

2.1 技術要件

ネットワーク機器の試験・評価用ツールには、既にさまざまな製

品が存在する。また、それら既存製品ではカバーし切れていない用途・目的では、ユーザ自身がテストツールを自作している例も多い。しかし、これらには次のような課題や要求がある。

- ・ 既存製品には負荷試験に重点を置いたものが多く、試験対象機器の性能評価には有用であるが、柔軟性に乏しく細かなプロトコル試験に向いていないものが多い。
- ・ 自作ツールには、プロトコルスタックの処理を改造し易い Linux や BSD など OSS の UNIX 系 OS が用いられることが多い。しかし、洗練された操作性の実現が難しく、新たな機能やプロトコルの追加に際しては、作業者に高いスキルが求められ、また迅速な対応が困難である。
- ・ 一般に、ネットワーク機器の試験環境を構築する際には、システムを構成するホストコンピュータやサーバなど実際の機器を用いることが多い。しかし、それぞれの機器を試験の目的に合わせて動作させるためには、煩雑な接続・設定などの作業が必要となる。
- ・ 正常動作を優先する実機では異常・準正常状態を発生させることも困難である。さらには、他のネットワーク機器との連携による自動試験を実現するためには、それぞれの機器の仕様や対応するネットワークプロトコルについての高度な専門知識と深い理解が求められる。

2.2 開発コンセプト

前述した課題や要求に応えるべく、以下のコンセプトに基づいて開発を行った。

- (1) 簡単操作で試験環境を構築可能とする

さまざまな特徴を持つ複数のネットワークノードを 1 台の

Windows PC 上でエミュレートすることにより、機器の配置やケーブル接続などの煩雑な作業を不要とし、さらにそれらに対するさまざまな設定項目については、設定値を変更することなくそのまま動作するような規定値を設けることで、短時間で容易に試験環境を構築できるようにする。

(2) 特殊な状態を意図的に実現する

エミュレータ上の個々のネットワークノードと、その上で動作するタスクの動作シーケンスをユーザ自身によって定義・変更するための手段を提供し、実機では発生させることが困難な異常・準正常状態を意図的に発生させることで、細かなプロトコル試験の実現を可能とする。

(3) リアルなネットワーク環境のエミュレーション

動作プラットフォームに依存することなく、それぞれがユニークな IP アドレスや Ethernet アドレスを持つ複数のネットワークノードを同時にエミュレーションすることで、よりリアルなネットワーク環境のエミュレーションを可能にする。

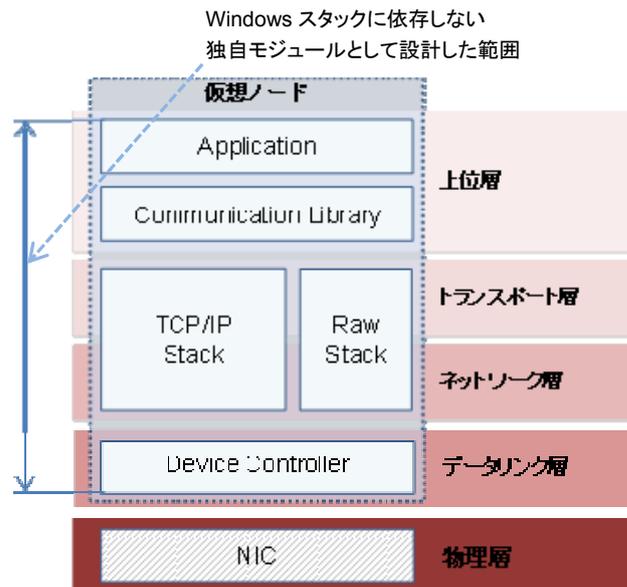


図1 ソフトウェアの構成
Software block diagram

設定値による通信シーケンスや送信メッセージ内容の変更、受信メッセージの判定基準の変更が可能となり、さまざまなテストのバリエーションを記述することが可能となった。

Communication Library 層で実現したシナリオ API は、IPv4 と IPv6 のプロトコル上の制約を吸収した仕様として設計しており、IPv4 上で動作するシナリオをそのまま修正することなく IPv6 試験において使用することが可能となる。これにより、ネット対応機器の IPv6 通信機能導入期における、試験環境の移行、テストケースの拡充を円滑に進めることが可能となった。

3.4 プロトコルスタック

大規模かつ複雑なネットワーク環境をエミュレーションするためには、多数の仮想ノードの同時・並列動作が必須であり、これらを実現するために、仮想ノードのプロトコルスタックとして OSS の組み込み用プロトコルスタックである“uIP”を採用した。本開発では、uIP に独自の修正を加え、ネット対応機器の試験機能を実現した。

ネットワーク機器の通信を模擬するにあたっては、TCP/UDP 上で動作するアプリケーションプロトコルの通信動作のみならず、ARP 応答処理や TCP ネゴシエーション処理などを意識する必要がある。それらの処理をすべてシナリオによって定義するためには、高度なネットワーク知識が必要となるとともに、シナリオサイズも膨大なものになってしまう。これら課題を回避するため、レイヤ 3～レイヤ 4 の通信プロトコル機能を持つ独自の TCP/IP プロトコルスタックを開発した。

また、試験内容によっては、Ethernet Frame の送受信レベル

3 設計の要点

3.1 ソフトウェア構造

CX750A ネットワークエミュレータが提供する仮想ノードのソフトウェア構成を図 1 に示す。本開発では、データリンク層以上のプロトコル処理モジュールを独自に設計し、Windows 標準実装のプロトコルスタックには依存しない構成とした。また、個々の仮想ノードがネットワーク上において完全に独立した個別のノードとして振舞うことができるよう仮想ノードごとに異なる MAC アドレスを設定可能とした。

仮想ノードの Application 部において、ネット対応機器の通信動作を定義可能とし、複雑なメッセージフォーマットや送受信タイミングを API によるファンクション呼び出しのみで実現できるように Communication Library 層を設けた。

これらにより、ユーザ独自のプロトコルへの対応や、実際のサーバでは再現することが困難な異常状態も容易に作り出すことが可能となった。

3.2 シナリオ

汎用スクリプト言語の一つである Lua をシナリオ記述言語として採用した。Lua は、高速な動作、高い移植性、組み込みの容易さなどの利点に加えて、実行環境自体の軽量さという大きな特徴を備えている言語である。ライトウェイトな Lua を採用することで、最大 256 のシナリオを同時に実行することが可能となった。また、パラメータ

での定義が必要な場面もあることから、TCP/IP による自律動作を一切行わない Raw Stack もあわせて開発し、Ethernet Frame をダイレクトに送受信することを可能とした。

これらプロトコルスタックは、仮想ノードごとに個別に配置するように設計されており、これにより、各仮想ノードが相互に影響されることなく動作し通信することを可能にしている。今回、uIP のライトウェイトという最大の特徴を残したまま、Windows PC 上で使用できる IPv4/IPv6 両対応プロトコルスタックとして実装したことによって、基本性能である最大 100 仮想ノード同時実行という性能を実現している。これにより、IPv4/IPv6 が混在した試験ネットワーク環境にも柔軟に対応できるようにした。

なお、本プロトコルスタックは、IPv6 Ready Logo プログラムにおける IPv6 Core Protocols Specification 相当の試験をクリアしており、テスト対向機としては十分な基本性能を持っていることが確認できている。

3.5 サーバエミュレーション

一般的なネットワーク環境において必須となるサーバサービスを、サービスコンポーネントとして提供した。試験ネットワーク内に各種サーバを配置したい場合に、マウス操作のみの簡易操作でサービスコンポーネントを配置できるよう設計した。現時点では、DHCP サーバ、DHCPv6 サーバ、DNS サーバ、HTTP サーバ、および PPPoE サーバをサービスコンポーネントとして標準提供しており、今後さらに追加・拡張することを予定している。また、将来的にエンドユーザ自身によってサービスコンポーネントを追加することを考慮し、ソフトウェア本体に手を加えることなくサービスコンポーネントをアドインするための仕組みも備えている。

3.6 VLAN タギング対応

VLAN タグ付きフレームの送受信機能を実現した。これにより、仮想ノードごとに異なる VLAN ID を設定することが可能となり、そ

れぞれの仮想ノードから異なる VLAN ID を持つ VLAN タグ付フレームを送信することができる。

この機能を応用することによって、物理インタフェースの拡張にも利用することができる。前述のとおり、複数の仮想ノードのそれぞれに異なる MAC アドレスを付与し、完全に独立したネットワークノードとして動作させることが可能である。しかし、通常の PC に実装されている物理インタフェースは一つで、増設したとしても数個が限界である。数十にも及ぶ多数のノードをエミュレートしたとしても、すべての送信フレームはすべて少数のネットワークインタフェースから出力されることとなる。例えば、ルータや L2 スイッチなどのように多数の物理インタフェースを持った中継機器を試験対象とする場合、複数のポートのそれぞれに対して個別にフレームを送信したい場合がある。そのような場合に、VLAN タグ対応スイッチと VLAN タギング機能を併用することで、物理的に複数ポートにフレームを送り込むことができる。

VLAN タグの付与イメージを図 3 に示す。各仮想ノードで異なる ID の VLAN タグを付加してフレームを送信する。VLAN タグ対応スイッチでは VLAN ID ごとに異なるポートからフレームを転送。こういった仕組みで、物理的な制約を排除することが可能となる。

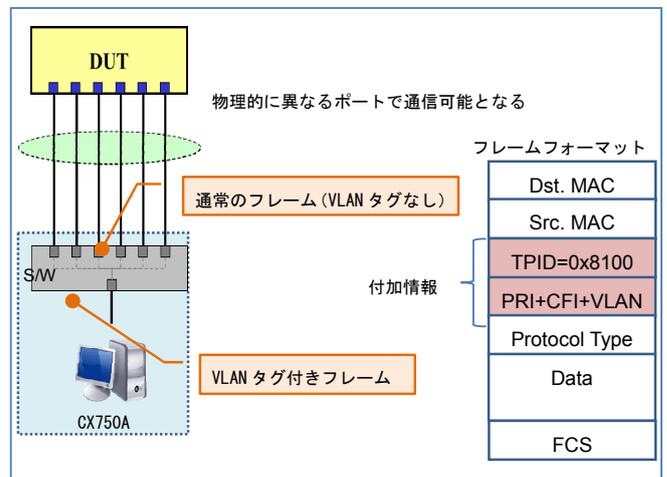


図 3 VLAN タグの付与
Application of the VLAN tag.

4 機能

4.1 概要

CX750A ネットワークエミュレータは、ネット家電やネット端末などさまざまな電子機器のネット接続機能を試験する際に、その対向機器やネットワークを擬似的に実現するソフトウェアである。ネットワークエミュレータの概要を図 4 に示し、主な仕様を以下に示す。

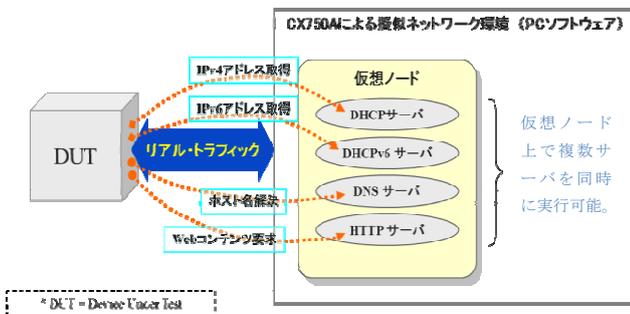


図 2 サービスコンポーネントの提供イメージ
Image of implemented service component.

仮想ノード数	最大 100 ノードまで
仮想ノードの種類	IPv4 ノード、IPv6 ノード、RAW ノード
プロトコルエミュレーション	ARP、IPv4、IPv6、ICMP、ICMPv6、DHCP クライアント、DHCPv6 クライアント、TCP、UDP
サーバエミュレーション	DHCP、DHCPv6、DNS、HTTP、PPPoE
その他の機能	連続試験実行機能 Multiplex ノード

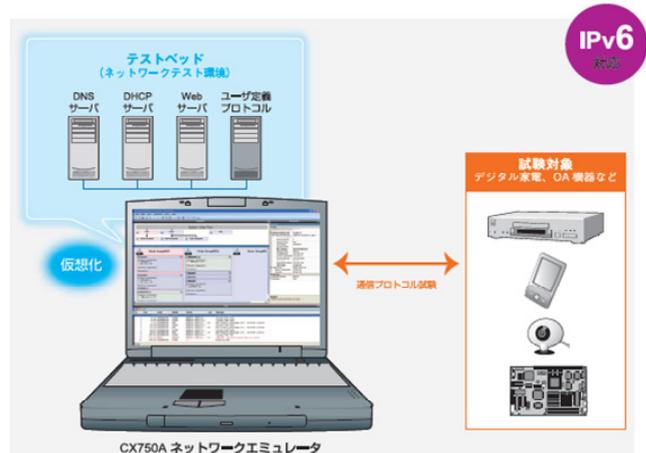


図 4 CX750A の概要
Summary of CX750A

4.2 GUI 画面の概観

図 5 に GUI 画面の概観を示す。

GUI 画面上に仮想的なネットワークノード(以下、仮想ノード)を配置していくことで試験ネットワークを構成し、それをそのまま動作させることで、より現実的かつ実用的な試験用ネットワーク環境を 1 台の PC で実現する。

4.3 仮想ネットワークの構築機能

それぞれが自律的に動作する複数の仮想ノードを仮想ネットワーク上に配置でき、またそれぞれの仮想ノードには、通信アプリケーションや通信サービスの動作をエミュレートする仮想タスクを配置し動作させることができる。図 6 に実ネットワークと本製品による仮想ネットワーク環境の対応を示す。

4.4 基本サービス機能

通常のネットワーク環境において必須となる ARP、ICMP、DHCP、DNS などの基本サービスを標準実装した。これにより、簡単な操作によって試験環境を構築することができ、さらに擬似環境ならではの特殊な試験環境を構築することを実現した。

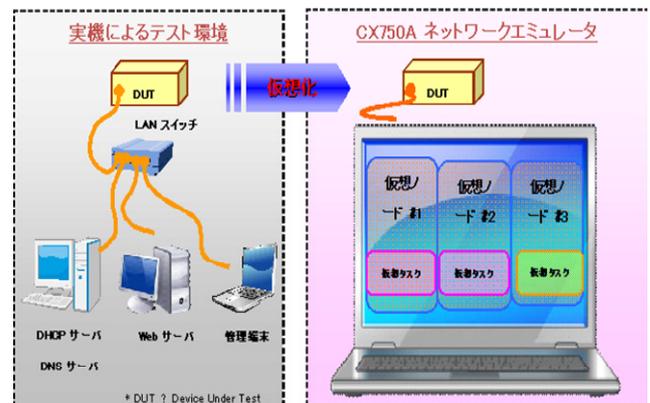


図 6 仮想ネットワークの構築
Construction of the virtual network environment

ネットワーク領域(上段)
物理インタフェースおよび仮想ノードグループの一覧を表示

ネットワーク領域(下段)
仮想ノードの追加・削除・一覧表示

プロパティ領域
仮想ノードの設定値編集

ログ領域
実行状態や実行結果を表示

図 5 GUI 画面
Image of GUI

4.5 シナリオ作成・実行による試験実施機能

アプリケーションやプロトコルの挙動をテストシナリオとして定義し、これを実行する機能と実装した。これにより、実機では実現が困難な動作・状態を意図的に発生させることや複数のシナリオを非同期で同時に実行することを実現した。

4.6 連続試験実行機能

試験ケースを連続実行する機能を実装した。これにより、IPv4 ネットワークの接続試験、IPv6 ネットワークの接続試験など異なるネットワーク構成の試験を連続で実行し、試験を効率よく実施することを実現した。

5 適用シーン

5.1 ホームネットワーク機器の通信試験

現在、デジタルテレビ、ビデオレコーダ/プレイヤ、家庭用ゲーム機、あるいはモバイル端末など、一般家庭で使用される電子機器の多くがネットワーク機能を備えており、その数はさらに増加を続け、またより高度なネットワーク機能やサービスの利用が進んでいる。

このような多種多様なネットワーク機能が搭載された電子製品は、相互接続性の検証や認定試験などが欠かせない。

これら多種多様な通信の試験用シーケンス定義を可能とし、試験対象機器のバリエーションを補うソリューションとして、有効活用いただいている。

5.2 SIP 端末の試験

SIP については、トラフィック試験、音声品質試験、あるいはシングリング試験など、広範に渡ってさまざまな試験・測定ツールが製

品やサービスとして存在するが、単一の IP 電話端末機のプロトコル機能に的を絞って基本発信、情報登録、ふくそう通知、緊急通報などのさまざまな試験項目に対して柔軟に対応し実施できるツールや製品は少ない。

CX750A ネットワークエミュレータは、標準で搭載された DHCP や DNS などのサーバ機能(サービス・コンポーネント)とシナリオ(スクリプト)の組み合わせによって、柔軟かつ細かなテストケースを実現することができ、VoIP 電話機や宅内ルータなどのゲートウェイ製品の評価に活用いただいている。さらに、今後予定されているE端末認定の事前評価においても、コスト・パフォーマンスの高い有用なツールとして期待されている。

5.3 IPv6 の試験

IPv6 の規格適合性試験については、評価項目やその実施ツールも充実しており、認定機関等による認証プログラムの確立によって、規格適合性や相互接続性の確保が進んでいる。しかし、それらはあくまでも各機器に搭載されたプロトコルスタックの挙動に対して規格適合・相互接続性を検証することが主目的であり、機種ごとの個別の事情を深く追求したものではない。

CX750A ネットワークエミュレータは、DHCPv6 サーバや IPv6 対応 DNS サーバを仮想ノードに標準搭載しているため、これらのサーバの設置や設定などに煩わされることなく IPv6 試験ネットワークを構築することができる。また、そのネットワーク構成全体の情報をファイルに保存しておくため、試験環境の管理や再構成も容易となる。

6 むすび

ネット対応機器のテスト環境を 1 台の PC で実現するネットワークエミュレータを開発した。ビルネットワークを想定した複雑かつ大規模な環境や、IPv6 による異常通信動作の再現など、さまざまな試験ネットワークを実現するソリューションとして採用されており、お客様の試験ネットワーク環境構築に係るコストの削減、機器品質の向上に貢献できている。

LTE サービスやクラウドコンピューティングの出現によって、ネットワーク上を流れるデータ量とネットワーク関連の電力消費量が爆発的に増大することが予想される。これら電力消費量を削減するソリューションとしても、温暖化防止をはじめとした地球環境保護にも貢献できるものと考えている。

今後、ソフトウェアの機能を拡張していくとともに、アンリツ製品と組み合わせたソリューションとして適用範囲を広げていく。

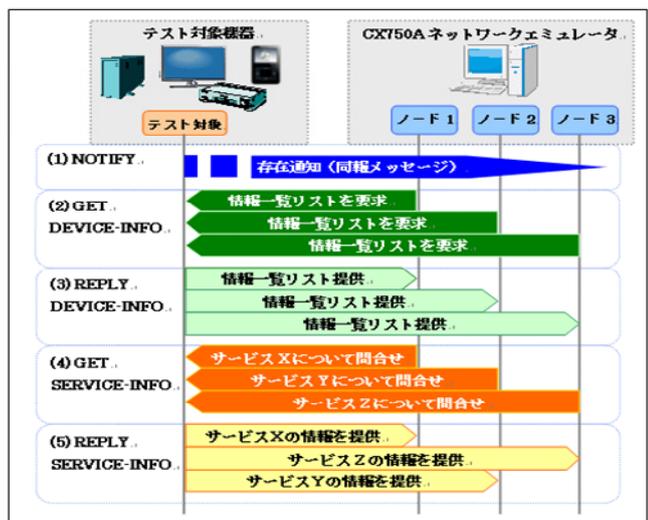


図 7 ホームネットワーク機器への試験適用イメージ
Application to home network devices

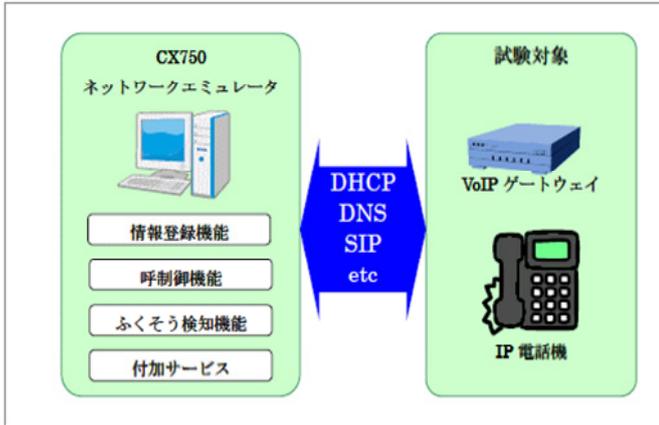


図 8 SIP 端末への試験適用イメージ
Application to SIP devices

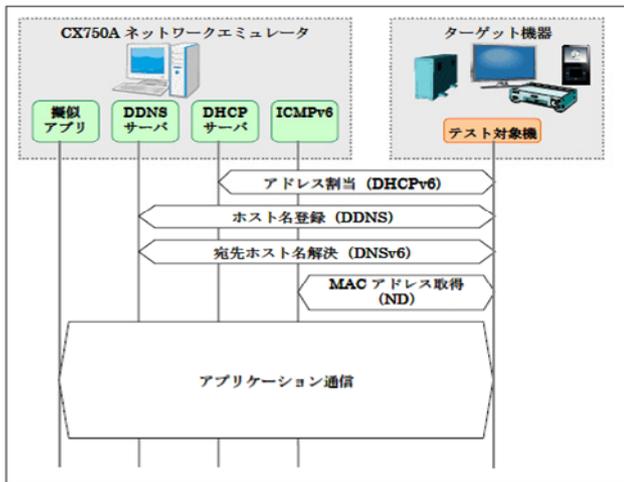


図 9 IPv6 機器への試験適用イメージ
Application to IPv6 devices.

執筆者



深川 義裕
アンリツエンジニアリング(株)
開発本部
プロトコルシステム開発部



田村 哲也
アンリツエンジニアリング(株)
開発本部
プロトコルシステム開発部



加藤 豊行
アンリツエンジニアリング(株)
営業部