

SA46T-AT:SA46T アドレスを用いた IPv4-IPv6 変換技術

松平 直樹[†] 上野 幸杜[‡] 堀場 勝広[‡] 中村 修[‡]

[†]富士通株式会社 [‡]慶應義塾大学

IPv4 アドレス枯渇が現実となる一方で、IPv6 の普及は本格化しているとも言い難く、円滑な移行にギャップが生じている。IPv4 の継続利用には、IPv4 アドレスの再利用もしくは共有の機能を兼ね備える移行技術が重要である。本論では、IPv4 アドレスの再利用に対応した IPv4-IPv6 変換技術である SA46T-AT を提案する。SA46T-AT は、先に提案している SA46T で規定する SA46T アドレスを前提とした IPv4-IPv6 変換技術で、スタブネットワーク内の IPv4 only サーバに対してインターネット上の IPv6 クライアントからのアクセスを可能とする。IPv4 グローバルアドレスに加え、IPv4 プライベートアドレスにも対応し、なおかつ、同一の IPv4 プライベートアドレスへのアクセスにも対応することが特徴である。また、ネットワーク層での変換に割り切るにより実装を単純化している。Linux 環境で実装を開発し、性能測定を行った。これを通じ、十分実用性があることを示した。

SA46T-AT: IPv4-IPv6 Header Translation Technology Using SA46T Address

Naoki Matsuhira[†] Yukito Ueno[‡] Katsuhiko Horiba[‡] Osamu Nakamura[‡]

[†]Fujitsu Limited [‡]Keio University

While exhaustion of IPv4 addresses became real, deployment of IPv6 is not well, gap occurs in a smooth transition from IPv4 to IPv6. For the continued use of IPv4, transition technology that combine the function of reuse or share of IPv4 addresses is important. This paper proposes a SA46T-AT, which is a IPv4-IPv6 translation technology that support the reuse of the IPv4 address. SA46T-AT is based on SA46T address that previously proposed, and mainly SA46T-AT enable access from IPv6 clients on the Internet to IPv4 only servers in stub networks. SA46T-AT support IPv4 only host address both IPv4 global address and IPv4 private address in case that is reused, and this is main characteristic of SA46T-AT. SA46T-AT also make implementation simple by processing network layer only. Develop an implementation in a Linux environment, and measure the performance. These result show SA46T-AT is practical enough.

1 はじめに

IPv4 アドレスの枯渇以後の状況を踏まえた移行技術として、SA46T-AT(SA46T Address Translator)と呼ぶ技術を提案する。SA46T-AT は、SA46T アドレスを用いた IPv4-IPv6 変換技術であり、IPv4 アドレス再利用を可能とする。具体的には、同一の IPv4 アドレスが割り当てられるサーバに対して、IPv6 クライアントからのアクセスを可能とする。

本論では、まず、IPv4 アドレス枯渇による環境変化に対応した移行技術に於いて SA46T-AT を位置づけた後、SA46T-AT 技術について述べる。さらに、SA46T-AT の実装と性能計測結果について述べる。最後に、本技術を評価する。

2 IPv4 アドレス枯渇と SA46T-AT

IPv6 は IPv4 アドレス枯渇問題の抜本解として検討されてきたが、RIR(Regional Internet Registry)に於ける IPv4 アドレスの枯渇 [1] が現実となる一方、IPv6 の普及は本格化しているとは言い難く、円滑な IPv4 から IPv6 への移行に於いてギャップが生じていると言える。IPv4 アドレスの移転も行われ始めているが、このような状況では、IPv6 の導入を積極的に行うことはもちろんだが、並行して、IPv4 の継続利用のための技術開発も、保険的な意味合いも含めて必要である。

IPv4 から IPv6 への移行技術のうち、中核的な技術である Dual Stack は、割り振る IPv4 アドレスの枯渇により、IPv6 only な構成しか取れなくなり、

IPv6 only なノードが自然発生するような状況になる。Dual Stack が使えなくなるので、IPv4 over IPv6 カプセル化、IPv4-IPv6 変換技術の重要性が向上する。

ところで、IPv4 アドレスの枯渇後、IPv4 の継続利用を可能とするには、二つのアプローチが考えられる。ひとつは、IPv4 アドレスの再利用 (Reuse) であり、もうひとつは IPv4 アドレスの共有 (Share) である。これらアプローチは、移行技術、すなわち、IPv4 over IPv6 カプセル化、あるいは IPv4-IPv6 変換技術が兼ね備えることが望ましい。

筆者らは、IPv4 over IPv6 カプセル化技術に於いて、既に、再利用を可能とする SA46T (Stateless Automatic IPv4 over IPv6 Encapsulation / Decapsulation Technology) [2][3][4] を、IPv4 over IPv6 カプセル化で IPv4 アドレスの共有を可能とする SA46T-AS (SA46T Address Sharing) [5][6] を提案している。

本論では、IPv4-IPv6 変換で IPv4 アドレスの再利用に対応する SA46T-AT を提案する。

表 1: SA46T-AT の位置づけ

移行技術	IPv4 アドレス	
	再利用 (Reuse)	共有 (Share)
Dual Stack	-	-
カプセル化	SA46T	SA46T-AS
IPv4-IPv6 変換	SA46T-AT	-

なお、表1に、SA46TとSA46T-AS、およびSA46T-ATの位置づけを示す。

3 SA46T アドレスの基本的な考え方と IPv4-IPv6 変換

先に提案した SA46T は、プライベートアドレスを含む IPv4 アドレスを IPv6 アドレス空間にマッピングすることが基本的なアイデアで、このアドレスを利用した IPv4 over IPv6 カプセル化技術である。IPv4 アドレスを IPv6 アドレスである SA46T アドレスに変換することに加え、IPv4 の経路につ

いても SA46T アドレスの形式の IPv6 の経路に変換して広告することが特徴である。

SA46T のアドレスの形式を図 1 に示す。

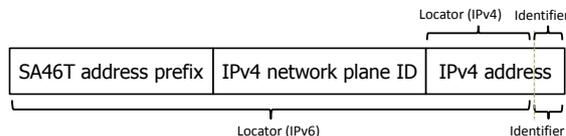


図 1: SA46T アドレス

SA46T アドレスは、SA46T address prefix、IPv4 network plane ID、IPv4 アドレスから構成される。なお、以後、SA46T address prefix を、SA46T prefix と表現する。

SA46T address prefix

SA46T アドレスの prefix

IPv4 network plane ID

IPv4 ネットワークの識別子

IPv4 address

Inner header の IPv4 アドレス

SA46T アドレスは、IPv4 アドレスを IPv6 アドレス空間にマッピングしたもので、その際、重複、つまり再利用が当初から許されている IPv4 プライベートアドレスを区別するために、IPv4 Network Plane ID と呼ぶ多重化識別子を導入したものである。このアドレスをカプセル化に用いたのが SA46T だが、IPv4-IPv6 変換に利用することも可能であり、しかも、プライベートアドレスが付与されるホストを対象にした IPv4-IPv6 変換も可能となる。

4 SA46T-AT によるシステム構成

図 2 に SA46T-AT によるシステム構成を示す。図にて SA46T-AT と記載される装置には、SA46T の機能も有するものと想定されるが、単純化のため、ここでは、SA46T によるカプセル化の機能は省いている。

想定する利用環境を示す。バックボーンネットワークは IPv6 対応し、そこに接続されるスタブネットワークは、IPv6 対応したのもがあれば、IPv4 のま

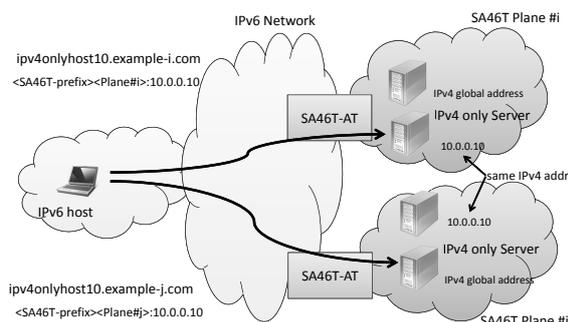


図 2: SA46T-AT によるシステム構成

まのものも存在する。SA46T-AT はバックボーンネットワークとスタブネットワークの境界に配置され、IPv6 クライアントから、IPv4 only のサーバに対するアクセスを可能にする。この際、IPv4 アドレスが同一の場合でも、IPv6 クライアントからのアクセスを可能とすることが特徴であり、IPv4 アドレスの再利用に対応した IPv4-IPv6 変換技術に分類した所以である。

図 2 の例を用いて具体的に説明する。2 つの IPv4 スタブネットワークが存在し、ひとつは、IPv4 Network Plane ID の #i に、もうひとつは、#j に属する。それぞれのスタブネットワークにはグローバルアドレスが割り当てられた IPv4 only サーバの他に、プライベートアドレスが割り当てられた IPv4 only サーバが存在し、これらの IP アドレスは、10.0.0.10 で同一とする。Plane #i に属するこのサーバは、IPv6 アドレス空間では、<SA46T Prefix><Plane #i>10.0.0.10 で表現される。もう一方のサーバは、同様に、<SA46T Prefix><Plane #j>10.0.0.10 と表現される。

このホストに対する IPv6 からのアクセスは DNS を用いない、つまり、IPv6 アドレスの直接指定により可能である。もちろん、DNS に登録することによりドメイン名形式でのアクセスも可能である。

SA46T-AT は、IPv6 only クライアントから、IPv4 グローバルアドレスが割り当てられているサーバへのアクセスを可能とするのはもちろんのこと、IPv4 プライベートアドレスを用いて構築されたサーバへのアクセスも可能とする。なお、SA46T の同一 IPv4 Network Plane 内では IPv4 による通信も可能となる。

4.1 SA46T-AT が提供するメリット

SA46T-AT により、IPv4 グローバルアドレスの枯渇後も、IPv4 プライベートアドレスを用いて IPv4 only のサーバを構築し、サービス提供することが可能になる。IPv4 からのアクセスは、SA46T の同一 Plane 内という制限があるものの、IPv6 からのアクセスは制限なく可能である。IPv4 アドレス枯渇後の環境で、IPv6 only のサーバを構築することと比べると、同一 Plane 内でなら IPv4 でアクセス可能であることは、制限ではなく、むしろ、メリットである。

SA46T-AT はスタブネットワーク内に存在する既設の IPv4 機器に、IPv6 からアクセスできるという新たなメリットも提供できる。例えば、家庭にあるネットワーク対応のビデオデッキやネットワーク接続ストレージなど、まだまだ多くの機器は IPv4 に対応しているものの、IPv6 に対応していないものも少なくない。このような機器に、IPv6 を用いればインターネット上からアクセスできるようになるので、いままで実現できなかったメリットとなるであろう。

また、SA46T-AT は、IPv4 のみに対応した旧型のシステムと IPv6 にのみ対応した新型のシステムを統合するような通信基盤を提供できる。例えば、既存の IPv4 only なセンサーと、新設する IPv6 のみに対応したセンサーが混在したシステムで、IP バージョンを意識することなく統合できる。一般化すれば、IPv4 only な機器と IPv6 対応の機器に対し、IPv6 を起点とした通信を可能とすることは利便性が高い。

4.2 IPv4-IPv6 変換の各種シナリオに於ける位置づけ

IPv4-IPv6 変換技術には、SIIT[7] や NAT64[8] 等の技術がある。このうち、実験等 [9] での利用報告がなされている、NAT64 によるシステム構成との比較を図 3 に示す。NAT64 は、ウェルノウンプレフィックスの 64:ff9b::/96 を用いるのがデフォルトであり、DNS64[10] との連携も考慮されていることから、主たる用途がクライアント主体のサブネットの IPv6 化に対応するものと考えられる。

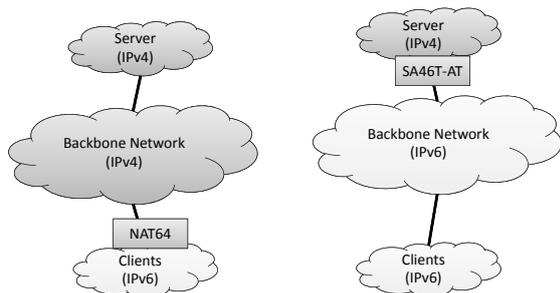


図 3: NAT64 によるネットワーク構成との比較

これに対し、SA46T-AT のシナリオは IPv4 のままのサーバが収容されるスタブネットワークを収容するものである。

RFC6144[11] は、IPv4-IPv6 変換のフレームワークについて記載しており、適用シナリオを 8 つに分類し、各シナリオに適用可能な IPv4-IPv6 変換技術を Stateless か Stateful かで記載している。これを整理したものを表 2 に示す。

表 2: IPv4-IPv6 変換技術の適用シナリオ

Target		IPv4		IPv6	
		Network	Internet	Network	Internet
IPv4	Network			#6 Stateless	#4
	Internet			#2 Stateless	#8
IPv6	Network	#5 Stateless	#1 Stateless Stateful		
	Internet	#3 Stateful SA46T-AT	#7		

Stateless の具体的な方式は SIIT, Stateful の具体的な方式は NAT64 と考えて概ね差し支えないと思われる¹。

SA46T-AT はシナリオ #3 に該当する。NAT64 はシナリオ #1 及びシナリオ #3 が該当するが、先に述べたよう、シナリオ #1 が主たるターゲットと見られる。なお、NAT64 のウェルノウンプレフィックスの 64:ff9b::/96 では、プライベートアドレスの表現は可能ではあるが、同一のプライベートアドレスを区別することはできない。

なお、IPv4-IPv6 変換で用いられる IPv6 アドレス

¹厳密には SIIT には Stateless モードと Stateful モードが存在する

を規定している RFC6052[12] では、プレフィックス長の異なる 6 種の IPv4 アドレス組み込み IPv6 アドレスが規定されているが、SA46T の IPv4 Network Plane ID 相当の情報は含まれていない。

5 SA46T-AT の仕様

5.1 SA46T-AT 設計の考え方

SA46T-AT では、IP アドレスのみ変換することとした。すなわち、TCP/UDP などトランスポート層のポート番号の変換は行わない。従って、NAT と親和性の無いアプリケーション、つまり、IP アドレスをデータに含むような FTP のようなアプリケーションには対応しない。これは、SA46T-AT が、主として IPv4 only サーバの救済が主目的であり、サーバであるが故に、サーバアプリケーションに特化できるため、このような割り切りが可能となる。具体的には、現段階で HTTP サーバが救済できれば良いと考えている。クライアント側での IPv4-IPv6 変換では、アプリケーションプロトコルを限定することは、そのまま機能制限につながり、場合によってはサービスのデグレードになりかねない。SA46T-AT は、割り切り可能なものは大胆に割り切って、実装を軽くし、手軽に利用できることを目指している。もし、NAT に親和性の無いアプリケーションに対応する必要が生じたら、その際は、そのアプリケーションにのみ特化した SA46T-AT 実装を開発すればよく、効率的な対応が可能になる。

IP アドレスのみの変換は、アクセスしてくる IPv6 クライアントを IPv4 の空間で写像する IPv4 アドレスが必要になることを意味する。従って、写像用の IPv4 アドレス分の IPv6 クライアントしか同時にアクセスできない。IPv6 アドレスの空間は IPv4 アドレスの空間に比べ比較にならないほど大きいので、膨大な数の IPv6 クライアントからの同時アクセスに対応できない可能性がある。しかし、さきにメリットの例で記載したビデオデッキやセンサーへのアクセスは、アクセスするクライアント数は少ないと考えられるし、膨大な数の IPv6 クライアントからアクセスされるような環境は、十分 IPv6 が普及している環境と考えられ、このような環境では、サーバも IPv6 をサポートすることが普通であり、SA46T-AT の役割は終焉しているかも知れないと

考えられる。もし、このような環境でも、引き続き SA46T-AT の仕組みが必要になるなら、写像用の IPv4 アドレスを、TCP/UDP のポート番号を用いることによって再利用し、IPv6 クライアントからの同時アクセス数を増やせるような拡張をすればよい。

5.2 SA46T-AT によるシステム構成とアドレス設計

図 4 に、SA46T-AT と、クライアントとしての IPv6 ホスト、サーバとしての IPv4 only ホストによるシステム構成を示す。

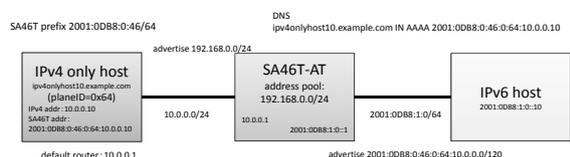


図 4: SA46T-AT のシステム構成例

SA46T prefix は、2001:0DB8:0:46/64 とする。IPv6 側のサブネットは、2001:0DB8:1:0/64 とする。IPv6 ホストのインタフェースには、2001:0DB8:1:0::10 が、SA46T-AT の IPv6 側のインタフェースには、2001:0DB8:1:0::1 が割り当てられているとする。IPv6 ホストのデフォルトルータは 2001:0DB8:1:0::1 となる。

一方、IPv4 側のサブネットは、10.0.0.0/24 とする。IPv4 only ホストのインタフェースには 10.0.0.10 が、SA46T-AT の IPv4 側のインタフェースには 10.0.0.1 が割り当てられているとする。IPv6 only ホストのデフォルトルータは 10.0.0.1 となる。

IPv4 only ホストは、FQDN(Fully Qualify Domain Name) が `ipv4onlyhost10.example.com` とし、SA46T の IPv4 Network Plane ID が `0x64` に属するものとする。IPv4 の空間では、

`ipv4onlyhost10.example.com` の A レコード、すなわち、IPv4 アドレスは 10.0.0.10 となる。

この IPv4 only ホストは、IPv6 の空間では、SA46T prefix の 2001:0DB8:0:46/64 と IPv4 Network Plane ID の `0x64` と、IPv4 アドレスの 10.0.0.10 を合わせた、2001:0DB8:0:46:0:64:10.0.0.10 で表現される。つまり、`ipv4onlyhost10.example.com` の

AAAA レコードは、

2001:0DB8:0:46:0:64:10.0.0.10 となる。

SA46T-AT は、IPv4 アドレスを、IPv6 アドレスである SA46T アドレスに写像するので、単純に変換できる。一方、通信している IPv6 ホストの IPv6 アドレスを表すための IPv4 アドレスが必要となる。SA46T は、このためのアドレスプールを必要とする。このアドレスプールを、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールと呼ぶ。ここでは、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールに割り当てる IPv4 アドレスを、192.168.0.0/24 とした。

SA46T-AT は、IPv6 サブネット側に、IPv4 の経路を SA46T の形式に変換した経路として、2001:0DB8:0:46:0:64:10.0.0.0/120 を経路広告する。一方、IPv4 サブネット側には、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールである、192.168.0.0/24 を経路広告する。

なお、もし、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールが IPv4 サブネットの空間の一部となった場合、SA46T-AT の IPv4 側インタフェースでは、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールに対する Proxy ARP[13] を動作させる必要がある。上記で記載したように、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールが IPv4 サブネット空間と異なる場合は、Proxy ARP の動作は必要なく、経路制御で処理される。

表 3 に、SA46T-AT アドレス変換テーブルの構成を示す。

表 3: SA46T-AT アドレス変換テーブル

addr of IPv6 host	IPv4 addr mapped to IPv6 host (dynamic assign)	entry expire timer
2001:0DB8:1:0::10	192.168.0.200	
:	:	

SA46T-AT アドレス変換テーブルは、IPv6 ホストの IPv6 アドレス、この IPv6 ホストを示す IPv4 アドレス、そしてエントリ消去のためのタイマー情報の 3 つの要素で構成される。なお、IPv6 ホストを示す IPv4 アドレスは IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールから動的に割り当てられ、IPv6 ホストとの通信がある一定時間以上行われなくなった際、エントリが消去されるとともに、IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールに返却される。

ある1台のIPv6クライアントが、SA46T-ATに接続されるIPv4サブネット内の複数のIPv4 onlyホストと通信しても、消費されるエントリは1つのみである。IPv6ホスト写像用IPv4アドレスプールのIPv4アドレス数は、同時にアクセス可能なIPv6ホスト数となる。

5.3 IPv6からIPv4向きの処理

IPv6からIPv4向きの処理を以下に示す。

1. SA46T-ATアドレス変換テーブルを発信IPv6アドレスをキーにして検索し、発信IPv4アドレスを求める。
2. 検索の結果、もしエントリが無ければ、作成して、写像するIPv4アドレスを動的に割り当て、このIPv4アドレスを発信IPv4アドレスとして用いる。
3. 宛先アドレスは宛先のSA46TアドレスのIPv4部を用いる。
4. TCP/UDPの場合、チェックサムを再計算する。
5. 該当するエントリのタイマを初期化する。

5.4 IPv4からIPv6向きの処理

IPv4からIPv6向きの処理を以下に示す。

1. SA46T-ATアドレス変換テーブルを宛先IPv4アドレスをキーにして検索し、該当するIPv6ホストを表す宛先IPv6アドレスを求める。
2. 発信IPv6アドレスはSA46Tアドレスの変換ルールで求める。
3. TCP/UDPの場合、チェックサムを再計算する。
4. 該当するエントリのタイマを初期化する。

5.5 その他処理

その他必要な処理を以下に示す。

1. タイマー起動でexpireしたエントリを消去する。

5.6 設定

SA46T-ATに必要な設定を以下に示す。

1. 広告する経路 ($2001:0DB8:0:46:0:64:10.0.0.0/120$)²
2. IPv6ホスト写像用IPv4アドレスプール
3. エントリ消去タイマー時間(デフォルトは180秒)

5.7 標準化提案

これらSA46T-ATの仕様は、IETFに、Internet-Draft[14]に記述され、提案されている。

6 SA46T-AT ルータの設計と実装および実証実験

本仕様に基づいた実装を開発した。図5にSA46T-ATのLinuxにおける実装概要図を示す。

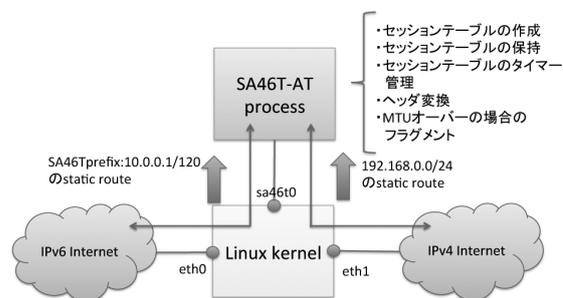


図5: SA46T-ATのLinuxにおける実装概要図

SA46T-ATの実装はLinux上でデーモンとして動作し、パケットの送受信はtun/tapを用いる。SA46T-ATデーモンは起動されると同時にtun/tapを用いて仮想インターフェースを作成し、仮想インターフェースに着信したパケットに対してヘッダ変換処理を行う。ユーザはSA46T-ATデーモンの起動後に仮想インターフェースに対してSA46T PrefixとIPv6ホスト写像用IPv4アドレスプールのスタティックルートを設定する必要がある。

IPv6パケットをIPv4パケットに変換する場合、SA46T-ATはIPv6パケットの発信アドレスをキー

²なお、ここからplane IDがわかる。

にして自身が持つ SA46T-AT アドレス変換テーブルを検索する。エントリが存在した場合はそこに記録された IPv4 写像アドレスを変換後のパケットの発信アドレスとする。また、IPv6 パケットの宛先アドレスの末尾 32 ビットを変換後のパケットの宛先アドレスとする。IPv6 パケットの発信アドレスに対応するエントリが存在しない場合は、設定された IPv6 ホスト写像用 IPv4 アドレスプールから新たな IPv4 アドレスを割当て、エントリを作成した後に IPv4 パケットを生成する。エントリは 180 秒間通信がない場合にのみ消去される。

IPv4 パケットを IPv6 パケットに変換する場合、SA46T-AT は IPv4 パケットの宛先アドレスをキーにして SA46T-AT アドレス変換テーブルを検索する。エントリが存在した場合は記録された IPv6 アドレスを IPv6 パケットの宛先アドレスとする。また、IPv4 パケットの発信アドレスから生成した SA46T アドレスを IPv6 パケットの発信アドレスとする。

なお、IPv4 パケットを IPv6 パケットに変換する場合はネットワーク層のヘッダ長が大きくなるため、変換先のリンクの MTU を超える場合が考えられる。SA46T-AT は、変換後のパケット長が設定された MTU を超える場合、パケットをフラグメント化した上で送信する。相互の変換に共通の動作として、TCP または UDP パケットの変換を行う場合はトランスポート層のチェックサムの再計算を行う。これは、ネットワーク層のヘッダがトランスポート層のチェックサムの計算元に含まれているためである。また、ICMP と ICMPv6 の間に相互互換性がないため、ICMP を変換する場合は ICMP code など個別に変換する。

6.1 実証実験

図 5 に Interop 2012 Tokyo/ORC2012 で実施した実証実験の構成図を示す。

SA46T-AT は、OpenBlocks 600 で動作させ、サーバには、富士通 FMV BIBLO LOOX M/G30(Atom N450 1.66Ghz, 1GB メモリ, Fast Ethernet) に CentOS を搭載したものをを用いた。

SA46T-AT 及び IPv4 only サーバは、実際に Interop ShowNet に接続し、Interop 会場内はもちろんのこと、Internet からの接続も可能とした。SA46T Prefix は 2001:3e8:0:1570 を用いた。また、IPv6

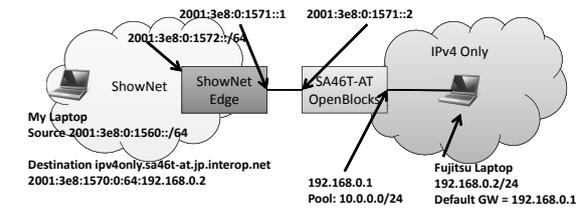


図 6: ORC での SA46T-AT 実証実験の構成図

クライアントを写像する IPv4 アドレスとしては、10.0.0.0/24 を用いた。

サーバへの HTTP アクセスは、

```
http://[2001:3e8:0:64:c0a8:2]/cgi-bin/index.cgi
http://ipv4only.sa46t-at.jp.interop.net/cgi-bin/index.cgi
```

のように、IPv6 アドレスによる直接指定、もしくは、ドメイン名形式の双方の方法でアクセス可能である。なお、IPv4 アドレスの 192.168.0.2 は、IPv6 の 16 進数で表現すると、c0a8:2 である。HTTP のほか、SSH や FTP(PASV モード) などのアプリケーションの動作も確認した。

図 7 に、実証実験に用いた、機器の写真を示す。画面にあるよう、本サーバにアクセスすると、SA46T-AT 技術の概要説明に加え、アクセスした IPv6 クライアントを写像する IPv4 アドレス等が表示される。



図 7: ORC での実証実験の機材

なお、本実証実験期間中、富士通ブースからのアクセスも含め、安定した動作を確認した。

7 評価

7.1 他技術との比較

SA46T-AT と他の技術との比較について、表 4 に示す。

表 4: SA46T-AT と他技術との比較

	動作レイヤ	v4⇒6	v6⇒4	IPv4空間の多重化	想定用途
SA46T-AT	ネットワーク層	不可	可	可	IPv4 only host 側
NAT64	ネットワーク層	不可	可	可	IPv6 Internet 側
TRT	トランスポート層	不可	可	可	IPv6 Internet 側
SIIT	ネットワーク層	不可	可	不可	IPv6 Internet 側

動作レイヤについては、SA46T-ATはネットワーク層のみで動作するが、NAT64及びTRT(Transport Relay Translator)[16]についてはトランスポート層の変換についても定義されている。特に、TRTはTCPの再送制御等についてもTRT自身が行うため、通信効率は高くなるが、変換の際の負担が大きくなるという特徴がある。また、IPv6空間からIPv4空間へのアクセスが可能である点、IPv4空間からIPv6空間へのアクセスが不可能である点は共通である。なお、この場合のアクセスはセッションが存在しない時点での通信の可否を指す。IPv4空間の多重化については、SA46T-ATではプロトコルスペックで定義されている。NAT64及びTRTは仕組み上可能ではあるものの、プロトコルスペックでは定義されていない。SIITはアドレッシングの際にホスト部の末尾32ビット以外を予約するため、多重化は不可能である。想定用途としては、SA46T-ATのみがIPv4のみのエッジネットワークに設置することを想定し、他の技術はIPv6バックボーンとIPv4バックボーンの境界に設置することを想定している。

7.2 パフォーマンスの計測

SA46T-ATを設置した場合、トランスレーション対象へのIPv6のトラフィックはすべてSA46T-ATを経由するため、最大スループットは重要なメトリックである。実際にどの程度のトラフィックを変換することが可能か検証し、パフォーマンスの傾向を明らかにするため、以下の対象についてIperf³を用いてスループットの計測を行った。

1. 直接接続 (Direct)

³<http://iperf.sourceforge.net/>

- Linuxカーネルが提供するIPv6ルーティングエンジン (IPv6 routing)
- NAT64実装の一つであるTAYGA⁴(TAYGA)
- 本研究で実装したSA46T-AT(SA46T-AT)

スループットを計測する環境を構築するために、実装したSA46T-ATを動作させるためのサーバを1台、Iperfのサーバ及びクライアントとして動作させるためのサーバを2台、計3台のサーバを用いた。この3台のサーバのスペックを以下に示す。

● トランスレータ

OS: Ubuntu 10.04 x86 64

CPU: Intel Xeon 5160@3.00Ghz 2 cores/2 threads

Memory: 4GB

NIC: Intel 80003ES2LAN x 2

● Iperf サーバ

OS: Ubuntu 10.04 x86 64

CPU: Intel Xeon 5160@3.00Ghz 2 cores/2 threads

Memory: 4GB

NIC: Intel 80003ES2LAN

● Iperf クライアント

OS: Ubuntu 10.04 x86 64

CPU: Intel Core i7 975@3.33Ghz 4 cores/8 threads

Memory: 12GB

NIC: Realtek RTL8111/8168B

この条件において、Direct、IPv6 routing、TAYGA、SA46T-ATのそれぞれについて、TCP及びUDPでパケットサイズを1500byteと250byteとした場合の計16通りを3回ずつ10秒間計測し、各場合において3回の計測の平均値を計測結果とした。本計測のBPSでの結果を図8に、PPSでの結果を図9に示す。

パケットサイズが1500byteの場合、BPSではSA46T-AT、TAYGA(以下トランスレータ)とDirect、IPv6 routing(以下非トランスレータ)の間

⁴<http://www.litech.org/tayga/>

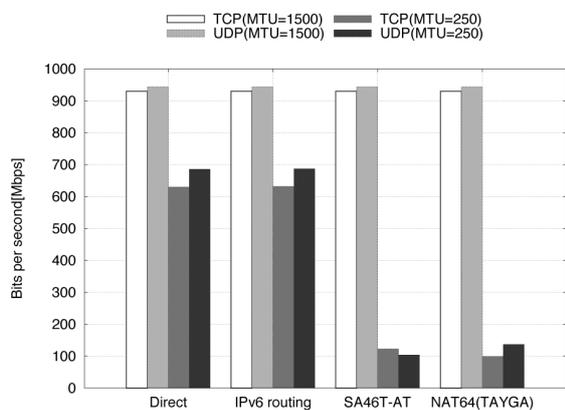


図 8: BPS での計測結果

に目立ったパフォーマンスの差は現れなかった。パケットサイズが 1500byte で TCP の場合にトランスレータの PPS が大きくなるという現象が発生した。この現象の原因については判明していないが、TCP 特有の現象であり BPS に変化がないことから、何らかの原因によりパケットの再送がおきていると推測できる。

パケットサイズが 250byte の場合は、BPS 及び PPS の計測結果から、トランスレータのパフォーマンスが低下する傾向があることが判明した。以上から、トランスレータは時間あたりのパケット処理可能数が非トランスレータと比べて少ないが、NAT64 と SA46T-AT の間に目立ったパフォーマンスの差はほぼ存在しないと言える。

8 まとめ

本研究では SA46T のアドレス設計ならびに経路広告を利用するアイデアに、IPv6 からの通信をトリガーとした IPv6-IPv4 プロトコル変換機能を組み合わせた SA46T-AT を提案し Linux 上に実装した。SA46T-AT によって、プライベート IPv4 ノードに対して IPv6 からの接続性が提供できる。

実装し性能測定した結果、NAT64 と比較し、目立った差は現れなかった。この結果、十分実用性があると言える。

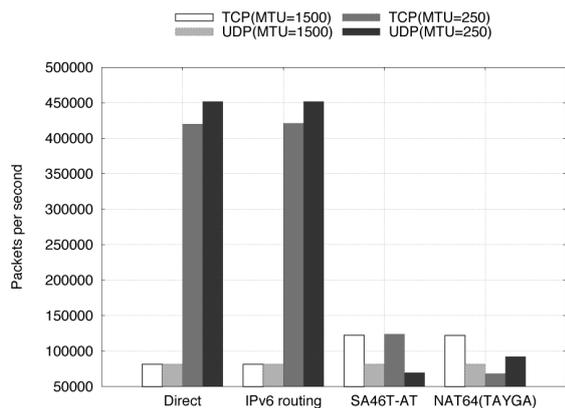


図 9: PPS での計測結果

参考文献

- [1] “IPv4 address Report” <http://www.potroo.net/tools/ipv4/index.html>
- [2] 松平直樹 “SA46T: IPv4 アドレス枯渇後の IPv6 移行と IPv4 継続利用を両立するカプセル化技術” IC2012, 2012 年 11 月
- [3] N. Matsuhira “Stateless Automatic IPv4 over IPv6 Encapsulation / Decapsulation Technology: Specification” draft-matsuhira-sa46t-spec-07.txt, Internet-Draft, July 2013
- [4] N. Matsuhira “Stateless Automatic IPv4 over IPv6 Excapsulation / Decapsulation Technology: Global SA46T Address Format” draft-

- matsuhira-sa46t-gaddr-07.txt, Internet-Draft July, 2013
- [5] 松平直樹 “SA46T-AS: アドレス変換を用いずに IPv4 アドレス共有を実現するカプセル化技術” FIT2013, 2013 年 9 月
- [6] N.Matsuhira “Stateless Automatic IPv4 over IPv6 Tunneling with IPv4 Address Sharing” draft-matsuhira-sa46t-as-05.txt, Internet-Draft, July 2013
- [7] X. Li, C. Bao, F. Baker “IP/ICMP Translation Algorithm” RFC6145, April 2011
- [8] M. Bagnulo, P. Matthews, I. van Beijnum “Stateful NAT64: Network Address and Protocol Translation from IPv6 clients to IPv4 Servers” RFC6146, April 2011
- [9] H. Hazeyama, Y. Ueno “Experiences from an IPv6-Only Network in the WIDE Camp Autumn 2011” draft-hazeyama-widcamp-ipv6-only-experience-00.txt, October 2011
- [10] M. Bagnulo, A. Sullivan, P. Matthews, I. van Beijnum “DNS64: DNS Extensions for Network Address Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers” RFC6147, April 2011
- [11] F. Baker, X. Li, C. Bao, K. Yin “Framework for IPv4/IPv6 Translation” RFC6144, April 2011
- [12] C. Bao, C. Huitema, M. Bagnulo, M. Boucadair, X. Li “IPv6 Addressing of IPv4/IPv6 Translators” RFC6052, October 2010
- [13] Smoot Carl-Mitgell, John S. Quarterman “Using ARP to Implement Transparent Subnet Gateways” RFC1027, October 1987
- [14] N. Matsuhira, K. Horiba, Y. Ueno, O. Nakamura “SA46T Address Translator” draft-matsuhira-sa46t-at-02.txt, Internet-Draft, September 2013
- [15] “オープンルータコンペティション” <http://www.interop.jp/2012/orc/>
- [16] J. Hagino, K. Yamamoto “An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator” RFC3142, June 2001