次世代ネットワーク環境における
レジストリシステムに関する研究

卒業論文 1998 年度 (平成10年度)

指導教員

村井 純

徳田 英幸

楠本 博之

中村 修

慶應義塾大学 環境情報学部

若井 宏美

mie@sfc.wide.ad.jp

Reserch on
Registry System in the next generation Internet

Bachelor Thesis

Keio University Faculty of Environmental Information

Tokuda, Murai, Kusumoto and Nakamura Laboratory

February 1998

Keio University Faculty of Environmental Information

Hiromi Wakai

mie@sfc.wide.ad.jp

概要

インターネットに接続するホストは全て一意のIPアドレスを取得する必要があり、レジストリシステムによってIPアドレスの割り当ての管理が実現されている。

扱う情報量の急増により、現在のレジストリシステムは規模性に欠け始めている。その他にも、複数のレジストリシステムをまたぐ情報検索が行えない、公開されている情報が悪用されることがあるなど、現状のレジストリシステムには多くの問題が生じている。

また、アドレス空間の枯渇と経路情報の爆発的な増加に従い、次世代インターネットプロトコルへの移行が進んでいるため、IPv6に対応したレジストリシステムが求められている。

その一方で、インターネットの拡大とネットワーク構成の複雑化に伴い、特に広域ネットワーク管理支援システムの必要性が増して来ている。

本研究の目的は、これらの問題点を解決し、次世代インターネットプロトコルの特徴であるアドレス構造を生かした分散レジストリシステムの構築と、レジストリシステムにおける広域ネットワーク管理支援システムの実現を行うことである。

本システムへの目的は4つある．それは、システムの分散と個々のレジストリシステムの負荷軽減、分散されたシステム間の協調、安全な情報公開の実現、そしてレジストリシステムの1機能として、広域ネットワーク管理支援を行うことである。

そこで本研究では、次世代インターネットプロトコルのアドレス構造を生かした分散方法と、個々のレジストリシステム間の通信による協調を実現するシステムであるMARSを設計した。そしてMARSを構成するレジストリシステムのプロトタイプとして、上記の課題を解決したWIDE 6bone Registryの設計と実装を行った。

最後に、MARSとWIDE 6bone Registryの評価を行った。これによって、既存のレジストリシステムとの機能の比較を行い、本システムが規模性・協調性・安全性ともに優れていることが実証された。またシステムを構成する各部の評価を行い、上記の問題を解決することができた。

Abstract

All the hosts in the Internet need to be allocated unique IP addresses to, so that the mechanism which IP addresses and who were allocated IP addresses have to be managed by registory system.

Because of rapid growth the quantity of information which registory system processes rapidly, current registory system does not have scalability. Current registory system has many other problems, for example it cannot search information between registory systems, public information is used for wrong purpose, and so on.

The expansion of address space and the explosive increase of routing information by evolusion of the Internet encourage transition to Internet Protocol next generation (IPv6), so that registory system which is base on IPv6 is needed.

On the other hand, the need of network, especially wide area network, management support system is increased by the expansion of Internet and the complication of network structure.

The goal of this thesis is to resolve these problems and to build distributed registory system based on address structure which is one of characteristic of Internet Protocol next generation and wide area network management support system on registory system.

This system has 4 goals: to decrease load of each registory system with distributed system, to collaborate registory systems, to build mechanism of secure information publishment, and to support wide area network management as a function of registory system.

Thus in this thesis the method to distribute registory system based on address structure of Internet Protocol next generation and MARS, system to build collaboration registory systems with intercommunication between registory systems were designed. Then WIDE 6bone Registory, which resolved problems above, was designed and implemented as a prototype of registory system which is an element of MARS.

Finally, MARS and WIDE 6bone Registory were evaluated. By comparison with function of existing registory systems, scalability, collaboration, and security of these systems were shown. Then parts of this system were evaluated and it shows resolution of problems described above.

目 次

図 目 次

表目次

第1章.　序論

第1節.　本研究の背景

インターネットでは、インターネット上の全てのマシンが固有の IP アドレスを持たなくてはならない。

IP アドレスは、IANA(Internet Assigned Numbers Authority) と呼ばれる組織によって一元管理されており、実際の割り当ては IANA から委託された複数のレジストリ (登録所) が分担して行なっている [1]。レジストリとは、IANA から IP アドレスの管理をブロック単位で委任され、それぞれの担当地域における IP アドレス配布に関して責任を持つ団体である。

レジストリは IP アドレスの割り当てに際し、どのアドレスをどの組織に割り当てたかといったアドレス割り当て情報をデータベースに登録し、管理している。そして、データベースに登録された内容を whois や WWW を用いて公開している。これは、ネットワーク管理者が登録された情報をインターネット運用のために用いることを目的としている。これらのアドレス割当情報の登録・管理・公開を行なうシステムをレジストリシステムと呼ぶ。

レジストリシステムの負荷

近年のインターネットの急激な普及に伴い、IP アドレスを取得する組織が増加している。そのため、レジストリシステムが管理すべき情報も増加している。

レジストリシステムとは、レジストリが所有するアドレス割り当て情報の管理を行なうシステムである。レジストリの中には他のレジストリシステムに管理を委任しているところもある。しかし、レジストリシステムの数はレジストリの数とほぼ等しい。

アドレスを取得する組織の増加に伴いアドレス割当業務の分担が進み、当初に比べレジストリの数は増加した。しかし、インターネット接続組織の増加は著しく、管理すべき情報が増加し、また利用者も増加している。さらに地域ごとに分担しているとはいえ、膨大な情報が一箇所に集中してしまうため、現在のレジストリシステムは規模性の点において限界が見えている。

IPv6への移行

現在使用されているインターネットプロトコル :IPv4は、1980年代前半に設計されたものである。設計当時は、インターネットがこれほどまでに普及するとは予想されていなかった。そのため、インターネットに接続する組織の増加に従い、アドレス空間の枯渇・経路表の爆発的増加など様々な問題を引き起こしている。

これらの問題を解決するために、NAT(Network Address Translation)[2] CIDR(Classless Inter-Domain Routing)[3] などの技術が利用されている。しかしこれらは、問題の一時的な回避を行なっているに過ぎず、根本的な解決はできていない。そこで、次世代インターネットプロトコルの研究が世界中で進んでいる。これがIPv6(Internet Protocol version 6) である。

IPv6では、アドレス空間が32bitから128bitへと広がる。また経路の集約を行なうことを前提としている。そのためIPv6アドレスは、アドレス構造自体が階層構造を形成している。

表 1.1: アドレスレベル

TLA ID (Top-Level Aggregation Identifier)	経路の階層構造の最上位レベル
NLA ID (Next-Level Aggregation Identifier)	TLA IDを取得した組織がアドレスの階層構造を形成したり組織の識別に用いるために使用
SLA ID (Site-Level Aggregation Identifier)	個々の組織が自組織のアドレスの階層構造を形成したりサブネットを識別するために使用

IPv6では、アドレスの階層構造に従ってアドレスレベル (表1.1) ができる。このように、アドレスをアドレスブロックごとに割り当てるため、TLA ID、NLA IDを取得した組織はアドレス割り当て情報の管理を行なわなければならない。RFC2450[4]において、TLA ID・NLA IDを取得した組織は自前でレジストリシステムを持つか、もしくはどこか他の組織に委託し、アドレス割当の情報を公開する義務があると規定されている。そのため、レジストリシステムはTLA ID、NLA IDを取得した組織ごとに分散される。

このように、インターネットプロトコルがIPv6に移行すると、レジストリが現在の中央集中型から分散型に変化することが決まっており、それに伴いレジストリシステムの新しい仕組みやあり方が求められている。

レジストリ情報の検索

現在レジストリシステムは世界に複数存在するが、それらには共通のインターフェイスである whois が用意されている。しかし whois では、利用者がどのレジストリシステムのデータベースを利用するかを明示しなくてはならない。つまり、求める情報がどのレジストリの管理下にあるのかを、予め利用者が何らかの方法で知っていなければ検索ができないということである。どの組織がどのレジストリの管理下にあるか調べるためには、ある程度の知識と技術が必要とされる。IPv6 に移行し、レジストリの数が急激に増加すると、利用者が求める情報がどのレジストリシステムの管理化にあるかを調べることは困難になる。そのため、情報の検索を可能にするレジストリシステム同士の協調が必要とされている。

公開されている情報の悪用

現在、レジストリシステムにおけるアドレス割り当て情報の公開に関して、その情報の公開に伴う安全性の問題が指摘されはじめている。最近では、レジストリシステムで公開されているメールアドレスや電話番号をダイレクトメールの宛先に利用するなど、本来の目的から外れた目的で利用されることが増えている。そのため、情報を登録している個人や団体から、whois による個人情報の公開をやめるよう求める声があがっている。

ネットワーク管理の複雑化

近年のネットワークの拡大により、ネットワークの構成は複雑化し、管理者の負担は増加し続けている。管理者には多くの経験と知識が必要とされている。しかし、それらを持ち合わせた技術者の数は限られており、全ての管理者が経験のある技術者というわけではない。そのため、ネットワーク管理を支援するための研究が進んでいる。既に TCP/IP をベースにする SNMP/MIB(Simple Network Management Protocol/Management Information Base)[5][6] 技術を利用したネットワーク管理システムなどが開発され、幅広く利用されている。

しかし、そのようなネットワーク管理システムは、一つの組織内のネットワークを管理するために用いられるものであり、複数の組織によって成る広域ネットワークの管理には用いられていない。

また、IPv6 への移行が進むと管理すべきホスト数が増加し、IPv6 ネットワーク管理経験のない技術者が管理を強いられる。また、移行途中には IPv4/IPv6 混在環境でのネットワーク管理を行わなければならず、ネットワーク管理の負荷はさらに増加する。したがって、IPv6 への移行と

ともに、さらにネットワーク管理支援システムが必要とされる。

第2節. 本研究の目的と本論文の構成

本研究の目的は、次世代ネットワーク環境におけるレジストリシステムの構築である。本研究では、次の2点を目的とする。

- IPv6のアドレス構造を生かしたレジストリシステムの構築
- レジストリシステムによる広域ネットワーク管理支援の実現

本研究では、まず第2章で述べる既存のレジストリシステムの問題点を解決する。第2章では、インターネット上でのレジストリの役目とレジストリシステム、ならびに現在のレジストリの変化とそれに伴って生じたレジストリシステムの問題点を説明する。具体的には、IPv6への移行を迎えますます増加するインターネット上のレジストリデータを全て管理するだけの規模性を兼ね備えたシステムを実現する。また、レジストリシステムに登録されている情報を必要とする利用者が、求めている情報がどこに登録されているのかを簡単に知ることができる環境を実現する。さらに、登録されている情報をその情報が必要な相手にだけ公開し、安全性を保つ仕組みを実現する。そして、次世代ネットワーク環境の特徴であるIPv6のアドレス構造に即したレジストリシステムの設計を行なう。

次に、第3章ではネットワーク管理とそれを支援するシステムの必要性について述べ、現状のシステムの問題点を挙げる。本研究では、広域ネットワーク管理支援システムの必要性を踏まえ、広域ネットワーク管理支援をレジストリシステムで実現する。レジストリシステムとネットワーク管理支援システムの関連研究については、第4章で説明する。

本研究の目的は、これらを実現する新しいレジストリシステムを提案し、そのプロトタイプの設計と実装を行なうことである。

本研究では、新しいレジストリシステムとしてMARSを設計し、第5章でMARSの提案を行なう。また、MARSを構成する個々のレジストリシステムのプロトタイプとしてWIDE 6bone Registryの設計と実装を行なう。WIDE 6bone Registryの設計については第6章で、実装については第7章で述べる。さらに、MARSとWIDE 6bone Registryの評価を行ない、第8章で述べる。最後に、本研究の結論と今後の課題を、第9章で述べる。

第2章.　レジストリとレジストリシステム

本章では、はじめにIPアドレスの割り当ての規定とそれを管理するインターネットレジストリの仕組みについて述べる。そして、そのレジストリデータを管理するレジストリシステムについて説明する。次に、現在インターネットレジストリに生じている変化を述べる。最後に、インターネットレジストリの変化に伴い生じているレジストリシステムの問題点について述べる。

第1節.　インターネットレジストリ(登録局)

本節ではIPアドレスを管理する機構の仕組みについて説明する。

インターネットの最上部団体はISOC(Internet Society)と呼ばれる団体である。ISOCは米国バージニア州に本部を置く非営利団体であり、インターネットの標準化活動に重点を置いている。

ISOCの下部組織に、インターネットのアーキテクチャに関する基本的な方針を定めるIAB(Internet Architecture Board)と呼ばれる組織がある。さらにIABの下に、インターネット上で一意であるべきものの一元的な管理を行なうIANA(Internet Assigned Numbers Authority)という団体がある。インターネット上で一意であるべきものとは、IPアドレス、ドメイン名、プロトコル番号などである。これらをインターネット資源という。これらの有限なインターネット資源を実際に管理し、インターネット接続組織に割り当てを行なう機構をインターネットレジストリ(以下IRと表す)と呼ぶ。また、IRの果たす機能のことをレジストリサービスと呼ぶ。IRの構成や、実際のインターネット資源の割当方式は、その性質により取り扱うインターネット資源によって異なる。

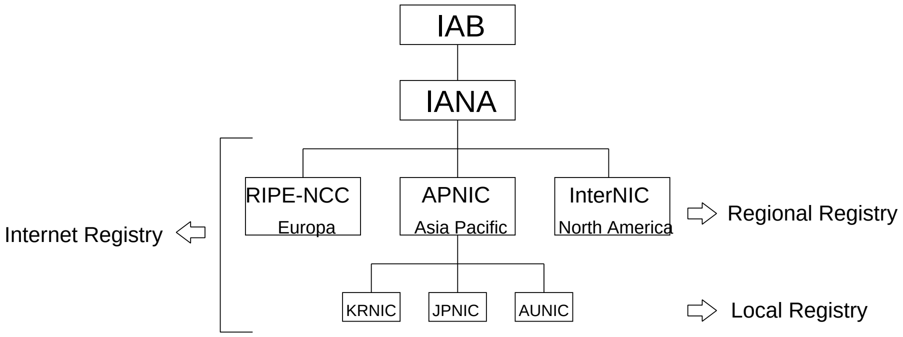


図 2.1: インターネット資源管理団体

IPアドレスに関しては図2.1に示すように、IANAがIANAの下部に属するIRに業務を委任している。本論文では、IPアドレスを、IRやIRが認めた機関へアドレスブロック単位で委託することを「割り振り(allocation)」と表記し、これらの機関が利用者に対してIPアドレスを指定することを「割り当て(assignment)」と表記し区別する。IRは、IANAからIPアドレスの割り振りを受け、利用者に対してIPアドレスの割り当てを行なっている。

IRには、地域レジストリとローカルレジストリの2種類がある。地域レジストリは、大陸など比較的大きな地理的範囲でのレジストリサービスを行なっている。現在、RIPE-NCC、InterNIC、APNICの3つの地域レジストリが機能している。RIPE-NCCはヨーロッパを、InterNICは北米地域を、APNICはアジア・環太平洋地域をそれぞれ管轄している。これらのいずれにも属さない地域に関しては、これらのうち地理的に最も近い範囲を担当する地域レジストリの管轄となる。

ローカルレジストリは、通常は国単位で作られるIRであり、いずれかの地域レジストリの管理下に置かれる。ローカルレジストリはその管轄の地域レジストリからIPアドレスの割り振りを受け、それぞれの管轄する国の中でのIPアドレスの管理と割り当てを担当している。現在インターネット上には、92のローカルレジストリが存在する。

ローカルレジストリは、他の機関にアドレスを割り振り、インターネット接続組織へのアドレス割り当て業務を委任することもできる。この他の機関とは主にISPを指し、IANAとIRの定めるガイドラインに沿ってインターネット接続組織へアドレス割り当てを行なう。

第2節. レジストリシステム

本節では、IRがレジストリデータを管理するために用いるレジストリシステムについて説明する。

インターネットには全体を集中して管理する機構がなく、管理者同士の相互の連絡によって管理運用されている。従って、IPアドレスの割り当て情報や管理者情報の収集・公開は、インターネットの維持・管理を行なう上で必要である。国際的にもこのような情報の公開が要請されている。

それらの情報の保持・公開を実現しているのが、レジストリシステムである。また、IPアドレスの割り当て情報や管理者情報などをレジストリデータと呼ぶ。

地域レジストリであるInterNIC、RIPE-NCC、APNICはレジストリシステムを持ち、IPアドレスの割当情報・管理者情報などのレジストリデータを管理している。従って現在レジストリシステムは複数存在し、その仕様は完全に統一されているわけではない。

レジストリシステムは通常、データベースと更新・情報の公開を行なうシステムで構成されている。情報の公開に関しては、それぞれのレジストリシステムは共通の検索インターフェイスを持っている。その共通のインターフェイスがwhoisサービスである。

whoisサービス

whoisとは、複数あるレジストリシステムの共通の検索インターフェイスとして用意されたプロトコルである。IRは、whoisのプロトコルを使用した問い合わせに対して答えるwhoisサービスを行なっている。

whoisサービスは、データベースを持つサーバーと問い合わせを行なうクライアントによって出来ている。whoisサーバーは、レジストリが各々で持ち管理を行なっている。

現在運用されている代表的なwhoisサーバーとそれを管理している組織を表2.1に示す。

表2.1: whoisサーバー

American Registry for Internet Numbers	whois.arin.net
European IP Address Allocations	whois.ripe.net
Asia Pacific IP Address Allocations	whois.apnic.net
US Military	whois.nic.mil
US Government	whois.nic.gov

利用者は、複数の地域レジストリの管理下の情報を、問い合わせを行なうサーバーを変えることにより同じ検索インターフェイスで得ることが可能になっている。

第3節.　IPアドレス割り当て方法とIRの変化

本節では、現在起こっているIRの変化について説明する。インターネットの普及に伴い、IPアドレスの不足や経路情報の増加などの問題点が生じてきた。この問題点に対応するために、IP

アドレス割り当ての規定が変わり、IR の意味合いも変化してきている。

近年インターネットが急激に発展し、そこに接続される組織が爆発的に増加したことにより、IP アドレスが近い将来枯渇してしまうことが予想されている。一方、インターネットの中核にあるルータの経路表も急激に増大している。このままこれらのルータの経路表が増大を続ければ、現在のルータ技術のままでは近い将来これらの大規模な経路表を管理できなくなる。その結果、インターネットが全体の到達可能性を保持したまま成長していくことが困難になるだろうことが予想されている。

これらの問題を招くに至ったアドレス割り当ての問題点は以下の3点である。

- オクテット単位のアドレス空間

  組織に割り当てるアドレス空間の大きさが、以前はオクテット (8bit) 単位で割り当てられていたため、アドレスの利用効率が低下した

- ネットワークへの接続形態 (トポロジ) を考慮しないアドレス割り当て

  ネットワークへの接続形態を考慮せずにアドレス割り当てを行なったため、経路情報を階層的に集約することができず、インターネットに接続する組織の増加に比例して経路情報が増加した。

- 経路数の増加によるオーバヘッド

  一つの経路が up/down すると、その情報がインターネット上のルータに伝達される。経路数が増大するにつれて、その情報伝達に必要な帯域やルータの CPU などの資源のオーバーヘッドが増大した。

これらの問題を解決するために、CIDR(Classless Inter-Domain Routing)[3] と呼ばれるアドレス割り当て方式と経路制御の方法が用いられるようになった。CIDR の導入は、IP アドレスとネットワークトポロジの関係や、IR ・アドレス割り当ての意味合いに変化を起こした。

CIDR の導入とアドレス割り当て方法の変化

CIDR とは、近年の経路情報の爆発的な増加に対応するために考えられた技術である。

CIDRを用いると、サブネット長をオクテット単位に限らず、ビット単位で設定できる。そのため、インターネット接続組織に必要に応じた大きさのアドレス空間を割り当てることが可能となり、アドレス空間の有効利用が可能となる。

また、ある一つのISPにまとまったアドレス空間Aを割り振り、そのISPに接続する組織にはその割り振られたアドレスを細かく分けて割り当てることが可能になる。これにより、一つのISPに接続される組織に対してどのようなアドレス割り当てがされようと、そのISP全体で利用されているアドレス空間はAに集約(aggregate)されることになる。したがって、そのISPから外部にアナウンスされる経路情報は一つに集約することが可能になり、全体の経路情報の数を減らすことができる。

そして、CIDRに基づく経路の集約は、経路の安定化にもつながる。一つの集約された経路は、対応する個々の経路のup/downに関わらず一つでも有効な経路があれば集約された経路はアナウンスされ続ける。そのため、経路の変動が覆い隠され、経路変動に対応するために必要な資源を大幅に節約することができる。

CIDR導入以前は、IPアドレスはネットワークへの接続形態とは関係なく割り当てられていた。IRは、IPアドレスを割り当てるだけで実際の接続性を提供するものではなかったのである。インターネットに接続する組織はIRからIPアドレスを取得し、実際の接続はISPなどに依頼することとなっていた。

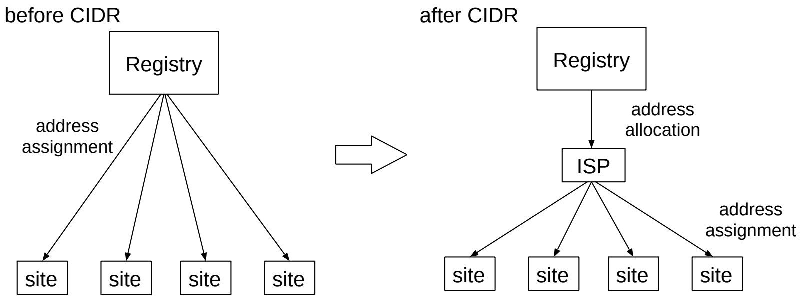


図 2.2: CIDR利用前と利用後

しかし、CIDRの利用がIRのIPアドレス割り当ての方法を変化させた。IRは、経路情報を集約しインターネット全体への到達性を高めるため、ネットワークへの接続形態を考慮してIPアドレスの割当を行なうことになった。IRは大規模なISPにアドレスブロックを割り振り、インターネット接続組織へのIPアドレス割り当て業務を委任する。そして、アドレスを申請する組織は、接続するネットワークがIRから委任されたアドレスブロックからアドレスの割り当て

を受けることになった。このアドレスを CIDR アドレスと呼ぶ。

IPv6 におけるアドレス割り当て方法と IR

IP アドレスの構造が現状の IPv4 から IPv6 へ移行すると、CIDR によってもたらされた変化は決定的となる。IPv6 では、CIDR の考え方をアドレス構造に反映している。つまり、アドレス構造がネットワークへの接続形態を反映しており、接続形態を考慮してアドレス割り振りを行なう。

IPv6 では、IP アドレスをアドレスブロックごと割り振る。つまり図 2.3 のように、上位 IR から アドレス割り振りを受けた組織は組織自身が IR となり、さらに他組織にアドレス割り振り／割り当てを行なうのである。

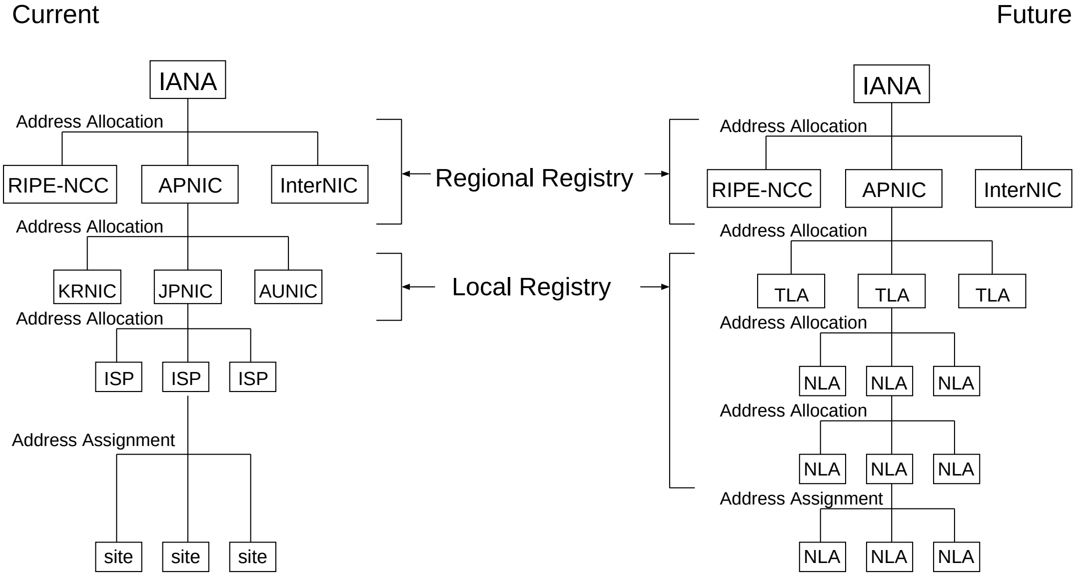


図 2.3: 現状の IR と今後 IR

IPv6 へ移行しても、地域レジストリが RIPE-NCC、APNIC、InterNIC の 3 つであることに変わりはない。地域レジストリが割り振るのは、TLA ID(Top Level Aggregation ID) と呼ばれるアドレスである。RFC2374[7] によると、TLA ID を取得するということは 112bit もの広大なアドレスブロックを委託されることを意味する。TLA ID を取得した組織は他の組織からのアドレス要求に応じる必要があり、またアドレスを割り振った組織の情報を管理する必要がある。つまり、TLA ID を取得した組織はローカルレジストリとなる。

TLA ID を取得しているローカルレジストリは、NLA ID(Next Level Aggregation ID) と呼ば

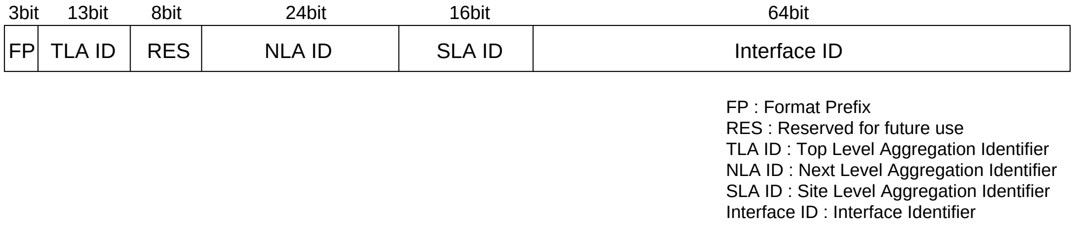


図 2.4: IPv6 アドレス構造

れるアドレスを割り振る。NLA ID を取得した組織には 2 種類あり、更にアドレスを割り振る IR となる組織とそうでない組織がある。更にアドレスを割り振る組織は、他組織に NLA ID を割り振り、レジストリデータの管理を行なう。NLA ID を取得した組織の中で、このようにアドレス割り振りを行なうものはローカルレジストリとなる。

第 4 節. レジストリシステムの問題点

本節では、現状のレジストリシステムの問題点を指摘する。IR には変化が生じている一方で、レジストリシステムは依然として当初のままである。そのため、現状のレジストリシステムには様々な問題点が発生している。

1 つ目はシステムの規模性の問題である。近年、インターネットの急激な普及により、IP アドレスを取得する組織が増加している。そのためレジストリシステムが管理すべき情報が増加し、中央集中型の現在のシステムでは負荷がかかりすぎている。IPv6 への移行が進めば、アドレス空間の拡大に伴いさらに管理すべき情報が増加する。

また前節で述べた IP アドレス割り当て方法と IR のあり方の変化に伴い、ISP など IR 以外の組織からアドレス割り当てを受ける組織が増えている。ISP はレジストリシステムを持たないため、その組織情報の登録は、アドレス割り当てを行なった ISP の上にいる IR に行なわなければならない。これは大変わかりづらい。

2 つ目は、それぞれのレジストリシステムが独立しており協調していないことである。

現在、レジストリシステムの共通のインターフェイスとして whois サービスが提供されている。しかし whois サービスを利用するには、どの whois サーバーに自分の求める情報があるかを

自分で調べ、問い合わせをする時点ではサーバーを指定しなくてはいけない。インターネットのコミュニティが小さかった頃は、利用者が他の手段を用いて調べてどのwhoisサーバーに登録されている情報かを判断するための負荷は少なかった。しかしインターネットが成長した現在では、その負荷は増加している。

3つ目の問題点は情報の公開に伴う安全性の問題である。レジストリシステムに登録されている情報の公開の目的は、ネットワーク管理者に対してインターネット運用のための利用である。たとえば、障害発生時の運用者の連絡先を知る手段として利用したり、障害発生時に対象となるIPアドレスやドメイン名の属性などから、その原因を追求するための情報として利用されることを想定している。しかし、近年のインターネットの急激な規模拡大に伴い、本来の使用目的を逸脱した、ダイレクトメール送付などの目的による利用形態が報告されるようになっている。そのため、データベースに登録されている個人情報などが本来の目的以外の目的で利用されることのないように、システムを改善する必要に迫られているのである。

第3章.　ネットワーク管理支援システム

本章では、はじめにネットワーク管理の定義を行う。次に、現状のネットワーク管理支援システムについて説明し、その問題点を述べる。最後に、広域ネットワークを対象としたネットワーク管理支援システムの必要性と、広域ネットワーク管理支援システムの IPv6 への適用について述べる。

第 1 節.　ネットワーク管理

本節では、ネットワーク管理の定義を行う。

ネットワーク管理とは、現在のネットワークについての情報を知り、それを構成する機器を操作することである。その目的は、接続されているシステムが相互に円滑に通信できるようにネットワークの状態を維持することである。

ネットワーク管理は、次の 5 つに分類することができる [8]。

1. 構成管理
   ネットワークのモニタリングを行ない、パケット転送レート・エラー発生回数などデータ収集を行なう。そして、ネットワーク構成の最適化をする。
2. 障害管理
   発生した障害と原因の特定を行ない、障害を除去する。
3. 性能管理
   ネットワークが目標とする性能を発揮しているかどうか、モニタリングから利用率やエラーレートなどを調査し、問題があれば解決策を検討する。
4. アカウント管理
   ネットワーク資源の利用状態の調査を行ない、利用可能量の設定を行なう。
5. セキュリティ管理
   保護すべき情報を特定し、その情報に対するアクセスの設定やアクセスの制限を行なう。

ネットワーク管理者はこれらの管理を行ない、ネットワークを正しい状態に維持する。

第2節. ネットワーク管理支援システム

本節では、豊富な経験や知識を必要とするネットワーク管理の作業を支援するネットワーク管理プロトコルであるSNMPと、それを用いて実現されているネットワーク管理システムについて述べる。

SNMP

現在、ネットワーク管理の複雑化と技術者の不足を解決するために、ネットワーク管理プロトコルであるSNMP(Simple Network Management Protocol)を用いてネットワーク管理を支援するシステムが実現されている。その目的は、ネットワークの構成把握 障害検知 性能管理である。

ネットワーク管理プロトコルとは、標準化されたプロトコルによって、全てのネットワーク機器にアクセスし、その機器の状態を把握し、さらにその機器を操作するものである。このプロトコルが、SNMPである。SNMPについては第4章の関連研究で詳しく述べる。

ネットワーク管理支援システム

今までネットワーク全体の構成が知りたい場合などは、ネットワーク管理者が多くの情報を自分で収集し、組み立てなければならなかった。しかし、ネットワーク管理支援システムを使用すれば、ネットワークの現状の構成を自動的に図示したり、ネットワークの障害を自動で発見することが可能になる。

ネットワーク管理支援システムには2種類ある。1つは、一組織の管理するローカルネットワークの管理支援を行うシステムである。これを、ローカルネットワーク管理支援システムと呼ぶ。もう1つは、複数の組織から構成される広域ネットワークの管理支援を行うシステムである。これを広域ネットワーク管理支援システムと呼ぶ。

図3.1に日立製作所のNETM*CM2によるローカルネットワーク管理支援システムをGUIの例として示した。ローカルネットワーク管理支援システムでは、このように管理者にわかりやすいインターフェイスを用いてネットワークの構成を示したり障害を知らせることができる。

このようなローカルネットワーク管理支援システムを用いることによって、ネットワーク管理者が以前よりも簡単に複雑なネットワークの構成を把握したり、障害を発見することが可能になっている。また障害の種類によっては、ローカルネットワーク管理支援システムが自動的に修復を行なったり、障害復帰の方法を提示したりなどネットワーク管理者の負担を軽減している。

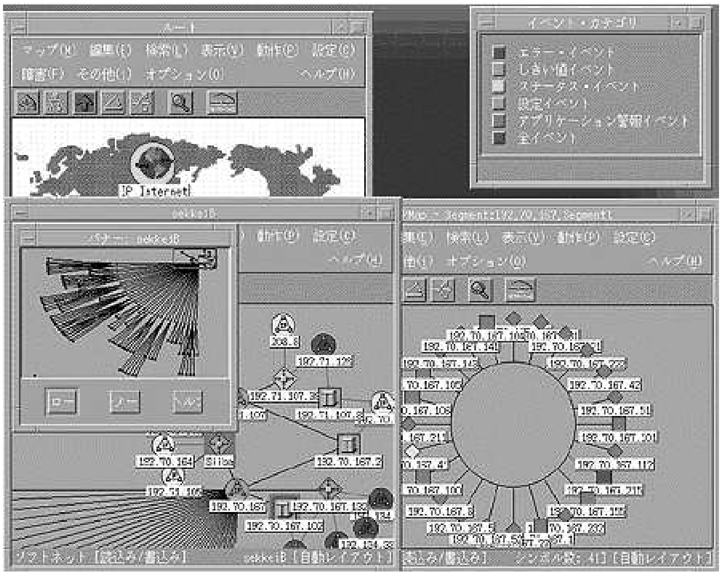


図 3.1: ネットワーク管理支援システムの GUI 例

第 3 節.　ネットワーク管理の問題点

本節では、ネットワーク管理とネットワーク管理支援システムの問題点について述べる。

近年、インターネットの拡大や経路数の増加に伴い、ネットワーク構成は複雑化している。ネットワークの拡大や構成の複雑化は、次のような問題を発生させる。

- ネットワークの現状把握が難しい
- 遠隔からのモニタリングの必要性
- 機器に応じた何種類ものモニタリング方法の必要性
- 広域モニタリングシステムの欠落

このような作業には豊富な経験と知識を必要とするが、それらを持ち合わせた技術者の数は限られており、ネットワーク管理は全てのネットワークの課題となっている。

この問題は IPv6 への移行に伴い更に深刻化する。IPv6 ネットワーク管理経験のない技術者が管理を強いられ、IPv4/IPv6 混在環境でのネットワーク管理を行なう状況が生まれる。したがって、ネットワーク管理は更に困難な作業となることが予想される。

また、現在のネットワーク管理支援システムは、一組織が管理するネットワークを対象としているものが多い。管理組織やポリシーが違う複数の組織で構成されるネットワークである広域ネットワーク管理支援を目的とするものはほとんどない。

第 4 節. IPv6 における広域ネットワーク管理支援システム

本節では、広域ネットワーク管理支援システムの必要性と、IPv6 での広域ネットワーク管理支援システム実現について述べる。

広域ネットワークにおいても、ネットワーク構成の把握の必要はあり、障害が起こる。つまり、広域ネットワークにもネットワーク管理が必要であり、それを管理する管理者が必要である。そして広域ネットワークにおいてもまた、ネットワーク管理支援システムの必要性は高まっている。

しかし、広域ネットワークは管理組織もポリシーも違う複数の組織から構成されるため、どこかが代表してネットワーク管理システムを立ちあげることはとても難しい。ネットワーク管理支援システムは、ネットワーク機器から自動的に情報を収集する必要がある。そのため広域ネットワーク管理支援システムを利用するには、そのネットワークを構成する全ての組織の同意を得る必要がある。複数の組織のネットワークで構成されている広域ネットワークには明確な管理者が存在しないため、誰がどこでそのシステムをたちあげ管理するのかが重大な問題となる。

また、ネットワーク性能管理・アカウント管理・セキュリティ管理などについては、他組織の管理者にまかせることはできない。このような問題があるため、今まで広域ネットワーク管理支援システムは実現されていなかった。

そこで、広域ネットワーク管理支援システムを実現するために、次の事柄を提案する。

- システムの運営は IR が行なう

  ネットワーク全体の管理者がいない中で、IR の存在は特殊である。もちろん IR は広域ネットワーク全体の管理を行なう存在ではない。しかし、情報を一箇所に収集し公開するという IR の役割を考えると、広域ネットワーク支援システムを運用する団体には、IR が適している。

- システムの機能は構成管理・障害発見

  広域ネットワーク管理で必要とされるのは、ネットワークの構成の把握と現在起こってい

る障害の発見である。そのため広域ネットワーク管理支援システムは、この2点に機能を絞って設計を行なう。

現状のIPv4ネットワークでは、一つのIRの管理する組織が構成するネットワークが広範囲に及ぶ。そのため、IRがその管理する範囲内の広域ネットワーク管理支援システムを運用するのは現実的ではない。

図3.2に示したように、IPv6ではIRが管理する範囲とネットワークの単位がほぼ重なる。またIPv6アドレスは、そのアドレスを持つ組織がどのネットワークに接続しているのかを表す。つまり、レジストリシステムが持つべきアドレス情報には、ネットワークへの接続形態に関する情報が含まれるようになるのである。

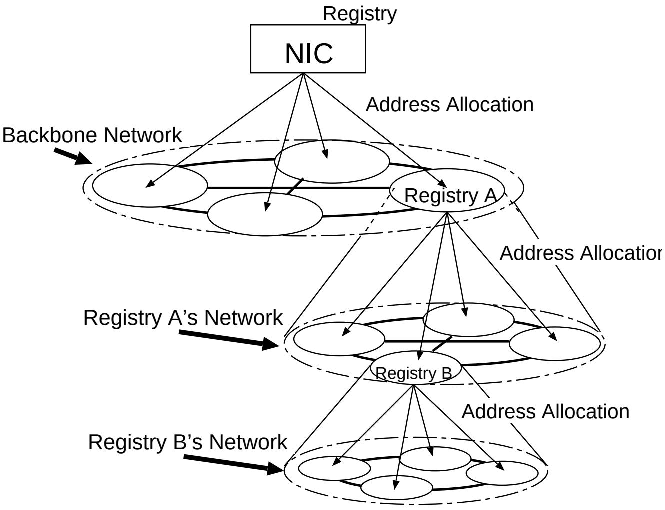


図 3.2: IPv6アドレス割当とネットワークトポロジ

ネットワーク管理者にとって、自分の属するネットワークに関する情報が一箇所で公開されていることはネットワークの管理·障害発見の大きな助けとなる。すなわちIPv6では、レジストリシステムに広域ネットワークにおけるネットワーク構成管理·障害発見などの機能を持たせることによって、今まで実現が困難であった広域ネットワーク管理支援システムが実現できる。

そのため本研究では、レジストリシステムの設計の際に、広域ネットワーク管理支援の機能を併せて設計する。

第4章.　関連研究

本章では、第2章と第3章で述べた問題点を解決しようとしている関連研究について記す。レジストリシステムの関連研究は、3つある。1つ目は、現在利用されているレジストリシステムの共通インターフェイスであるwhoisである。2つ目は、中央集中型であるwhoisの欠点を直したRWhoisである。3つ目はIPv6でのレジストリシステムである6boneRegistryである。whoisに関しては前章で述べたため、本章ではRWhoisと6bone Registryの2つのシステムについて述べる。

また、ネットワーク管理支援システムの関連研究には、SNMPを利用した商用のシステムが挙げられる。本研究で実現するレジストリシステムでは、広域ネットワーク管理支援を行うため、その関連研究としてSNMP/MIBの説明も併せて行う。

第1節.　RWhois

RWhoisは、現状のレジストリシステムの規模性の問題点に着目し、システムの分散を行なうことを目的としている研究である。

インターネットの成長に伴い、中央集中型のwhoisシステムが非効率的なシステムとなっている。それらの問題点を解決するために研究が進んでいるのがRWhois(Referral Whois)[9]である。

RWhoisは、ディレクトリサービスのプロトコルである。ディレクトリサービスとは、情報をある基準で分類・整理して提供するものを指す。RWhoisはwhoisの概念を用い、階層構造を形成する点と規模性の点を改善している。RWhoisでは、要求された情報を正確に提供できるように、ドメイン名・IPアドレスなどインターネット資源や個人に関する情報を、それらの持つ本質的な階層的な構造を用いて分散させることに焦点をあてている。例えばドメイン名を例にとると、「wide.ad.jp」というように3段階の階層構造をしていることがわかる。これらの階層構造を生かして情報を分散させるのである。

他にもディレクトリサービスは多数存在する。日本で有名なものとしては、NTTディレクトリ[1]やYahoo![2]、Inforseek[3]などが挙げられる。RWhoisは、他のディレクトリサービスと比較

---

[1] http://navi.ntt.co.jp/

[2] http://www.yahoo.co.jp/

[3] http://japan.infoseek.com/

して次の3点で勝っている。

1. テキストベースのプロトコルである
   他のプロトコルと比較して負荷が少なく、クライアントの作成やデバッグが簡単である。
2. 情報の所有者を明確にさせる
   登録されている情報の所有者を明確にすることにより、情報の信頼性を向上させ、登録者に対してきちんと更新を促すことができる。
3. 他のサービスのクエリを参照できる
   RWhoisでは他のプロトコルで他のディレクトリサービスと通信することを可能にしているので、様々なディレクトリサービスとの相互運用が可能である。

RWhoisがInformationl RFCとなったのは1994年である。しかし、依然としてwhoisからRWhoisへの移行は実現していない。

ディレクトリサービスは、情報の分類・整理の仕方がいかにわかりやすく使いやすいものであるかにかかっている。RWhoisではドメイン名・IPアドレスなどを、それらの持つ本質的な階層的な構造を用いて分散させるというが、これらの分類はとても困難である。情報が本質的な階層構造を持つと言っても、全てがきれいに分類できるわけではない。これが、RWhoisの実現を妨げる一つの要因となっている。

また、現在のレジストリシステムは委託されているIPアドレスの範囲を元に分散されているが、RWhoisでは情報の種類で分散させる。そのため、実際にレジストリシステムをRWhoisを用いて実現するためには、世界中のレジストリデータを一斉にRWhoisに移行しなくてはいけない。これも、RWhoisの実現を困難にしている要因の一つである。

第2節. 6bone Registry

6bone Registryは、現在のレジストリシステムでIPv6のレジストリデータの管理を行なうことを目的としている研究である。

1996年にIETF(Internet Engineering Task Force)の6bone BOFにおいて、IPv6テストベッドネットワークを構築することが決定した。これが、6boneと呼ばれるネットワークである。6boneでは実験用アドレスを用意し、IPv6テストベッドネットワークに参加する組織に割当を行なった。

その際に、それらのレジストリデータの管理をするために作られたのが、6bone Registry[4]である。6boneではテストアドレスを割り当てた組織に6bone Registryへの登録を義務づけている。

その運営・管理は、前章で述べたレジストリの一つであるRIPE-NCCが行なっている。RIPE-NCCが持つアドレス割当情報の管理を行なうデータベースを、RIPEネットワーク管理データベース、もしくは略してRIPEデータベースと呼ぶ。6bone Registryは、このRIPE形式のデータベースである。そしてIPv6特有の情報を格納するために、従来の項目以外に”ipv6-site”という項目を加えている。

6boneにおけるレジストリデータは、WHOIS.6BONE.NETというサーバーでwhoisサービスを用いて公開している。利用者は、whoisプロトコルを使用して情報を見ることができる。通常のwhoisクライアントではなくwhoisクライアントの拡張版を利用する。しかし、基本的な使用方法は従来のwhoisと変わらない。

6bone Registryで管理している情報を表4.1に示す。管理する情報を組織に関する情報・アドレスに関する情報・管理者に関する情報の3種類に分類し、それぞれが相互を指し示しているリレーショナルデータベースとなっている。

6bone Registryは実験ネットワークのレジストリシステムであるため、6boneに参加する組織は全て6bone Registryに登録する義務があり、6bone Registryは中央集中型のデータベースとなっている。しかし、実際の運用を考えると、中央集中型の6bone Registryでは規模性に欠けることが予想される。これは、6bone Registryがレジストリシステムの規模性の問題を解決することを目的として設計されたシステムではないからである。また、IPv6の特徴を踏まえてシステムの設計を行なっているわけでもない。

---

[4] http://www.isi.edu/ davidk/6bone/

表 4.1: 6bone Registry データベース項目

Objects	Examples
ipv6site	WIDE
origin	AS2500 JNIC-ASN
descr	Japan
country	JP - JAPAN
prefix	3FFE:500::/24 Aggregatable Global Unicast Address TEST-TLA-6BONE:WIDE:
application	ping june.v6.wide.ad.jp
tunnels	IPv6 in IPv4 DIGITAL-CA BGP4+
contact	WIW1-6BONE
url	http://www.v6.wide.ad.jp/
notify	v6@wide.ad.jp
changed	mie@sfc.wide.ad.jp 24th December 1998
source	6BONE
inet6num	3ffe:500::/24
netname	WIDE
descr	pTLA delegation for the 6bone
country	JP - JAPAN
aadmin-c	WIW1-6BONE
tech-c	WIW1-6BONE
mnt-by	MNT-WIDE
changed	RLFink@lil.gov 9th September 1997
source	6BONE
person	WIDE IPv6 WG
e-mail	v6@wide.ad.jp
nic-hdl	WIW1-6BONE
notify	v6@wide.ad.jp
changed	auto-dbm@ISI.EDU 31st March 1997
source	6BONE

第3節. SNMP/MIB

SNMP

SNMPとはSimple Network Management Protocolの略称で、ネットワーク管理を行なうためのプロトコルである。

SNMPは、TCP/IPネットワーク環境の管理プロトコルとして規定され、主にルータなどのネットワークの中継装置やTCP/IPネットワーク環境の情報を収集することを目的としている。最近では、SNMPの普及によって、ネットワーク管理への利用だけにとどまらず、システム管理などを行なうために利用されることもある。

実際のSNMPによるネットワークの情報の収集・管理の方法を説明する。管理装置を「マネージャ」、管理対象を「エージェント」と呼ぶ。

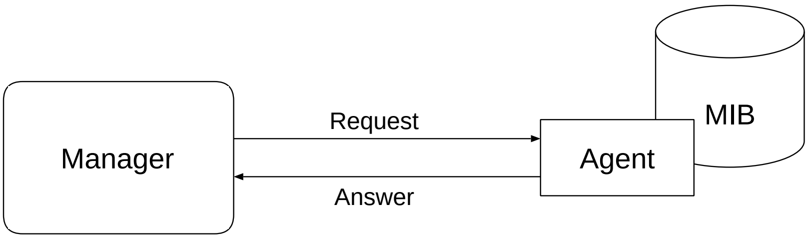


図4.1: SNMP通信イメージ

図4.1のように、マネージャはエージェントに情報の問い合わせを行ない、エージェントはマネージャに応答する。エージェントが持っている情報の集まりをMIB(Management Infomation Base)と呼ぶ。マネージャはエージェントの情報(MIB)を収集し、ネットワーク管理者は、収集した情報をもとにネットワークの状態を判断し管理することができる。

例えば、あるルータのインターフェイスの状態を確認したい場合は、ルータのインターフェイスの情報を表すMIB情報に対して問い合わせを行ない、返り値を判断する。

SNMPはデータ収集を行なうためのプロトコルであるため、管理者はエージェントの機能やネットワークに関する知識が必要になる。SNMPを利用したネットワーク管理システムでは、GUIなどを利用して機器やネットワークの状態をわかりやすく表示している。

MIB

MIB は管理情報の集まりのことで、一種のデータベースである。

MIB には、メーカや機種別に様々なものがあるが、TCP/IP デバイスが実装すべき MIB として定義されているのが MIB-2(RFC1213[6]) である。RFC では MIB-2 以外にも、HUB や Bridge などの機種別 MIB や FDDI 用や ATM 用などの様々な MIB が定義されている。

MIB-2 として定義されているオブジェクトは次のものである。

表 4.2: MIB-2 オブジェクト

the System グループ
the Address Translation グループ
the ICMP グループ
the UDP グループ
the Tranmission グループ
the Interface グループ
the IP グループ
the TCP グループ
the EGP グループ
SNMP グループ

このような SNMP/MIB を利用して、ネットワーク管理者は情報を収集している。

第 5 章. MARS

本章では、これからのレジストリシステムへの要求事項を挙げ、それらを満たしたレジストリシステムのモデル:MARS(Mie Advanced Registry System) を提案する。

第 1 節. レジストリシステムへの要求

本節では、現状のレジストリシステムの問題点と、本システムへの要求事項を述べる。

レジストリシステムの問題点は、第 2 章で述べたように次の 3 つがあげられる。

1. システムの規模性の問題
   インターネットの急激な普及や IPv6 への移行によりレジストリシステムが管理すべき情報はさらに増加する。現在の中央集中型のシステムでは、増加した情報によるシステムの負荷が高まり，規模性に欠ける。
2. レジストリシステムが協調していない
   現在、レジストリシステムは協調していないため、共通インターフェイスである whois を利用するにあたって，求める情報がどの whois サーバーに登録されているのかがわかりづらい。
3. 情報の公開に伴う安全性の問題
   レジストリデータの公開の目的は、ネットワーク管理者に対してインターネット運用のために利用してもらうことである。しかし近年，本来の使用目的を逸脱した、ダイレクトメール送付などの目的による利用形態が報告されるようになっている。

また、本システムへの要求事項としてネットワーク管理支援をあげる。第 3 章で述べたように、広域ネットワーク管理支援システムを実現するためには、その機能をネットワークの構成管理と障害発見に絞りレジストリが運営する必要がある。そのため本研究では、広域ネットワーク管理支援をレジストリシステムの一つの機能として設計を行なう。

第 2 節. レジストリシステムの設計方針

本節ではレジストリシステムに対する要求事項を踏まえ、本システムの設計方針を述べる。

前節で述べたように、本システムへの要求事項は次の 4 点である。

- 規模性のあるシステムの実現
- 情報の検索におけるシステム間の協調
- 安全な情報公開
- 広域ネットワーク管理支援

本研究では、これらの問題の解決を 2 つのアプローチから行う。

1 つ目のアプローチは、MARS の設計である。図 5.1 に示したように、現状ではレジストリシステムが複数あるにも関わらずそれらの全体的な仕組みは考えられていなかった。そこで本研究では、インターネットの成長に対応できる規模性を持ったレジストリシステムの総合システムである MARS を提案する。

MARS では IPv6 におけるアドレスの階層構造を利用してシステムの分散を行い、膨大な量の情報の管理を可能にする。また、分散させたそれぞれのシステムに通信プロトコルを実装し、システム同士を協調させ、レジストリシステムをまたがる情報の検索を可能にする。

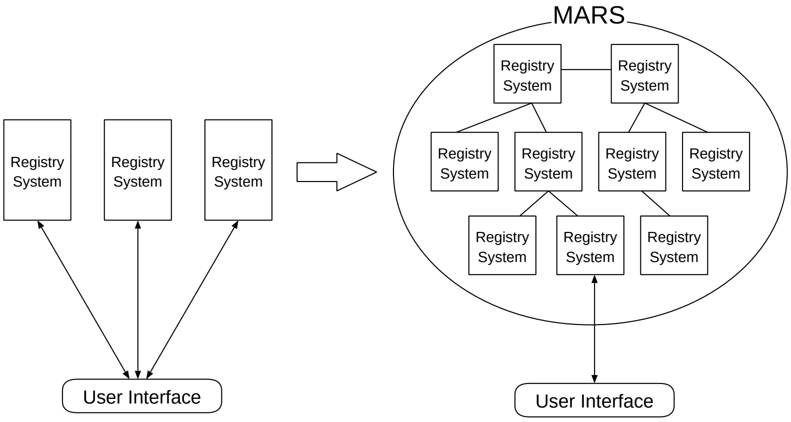


図 5.1: 現行システムと本システム

2つ目のアプローチとして、MARSを構成する個々のレジストリシステムのプロトタイプの設計と実装を行う。このプロトタイプをWIDE 6bone Registryと呼ぶ。WIDE 6bone Registryの設計については、第6章で詳しく述べる。WIDE 6bone Registryでは、安全な情報公開を行うために情報公開時にパスワード認証を行う。また、広域ネットワーク管理支援機能を持つ。

第 3 節.　MARS の設計

本節では、本研究で提案するレジストリシステム全体の仕組みである MARS の設計を行う。

第 3.1 節　分散モデル

MARS では、システムの負荷を減らすために分散システムを構築する。本節では、その分散の方法に関して説明する。

本研究では、新しいレジストリシステムを設計する際に、IPv6 の集約的アドレス (Aggregatable Global Unicast Address) 構造 [7] を生かしてレジストリシステムを分散させる。

IPv6 アドレスは、ネットワークのトポロジ・経路の階層を反映した階層構造を形成している。そのため IPv6 アドレスには、経路の集約点を表す TLA ID・NLA ID といったアドレスのレベルが存在する。

TLA ID は、経路の階層構造の最上位レベルを意味する。TLA ID を取得した組織は、そのアドレス空間を 1 組織で使用することはできない。TLA ID を取得した組織は、NLA ID のレベルのアドレスを他組織へ割り振る義務がある。

NLA ID は、TLA ID を取得した組織がアドレスの階層構造を形成したり、組織の識別に用いるために使用する。そのため図 5.2 のように、さらに複数の段階に分かれる。何段階にわかれるかは、TLA ID を取得した組織にかかっている。

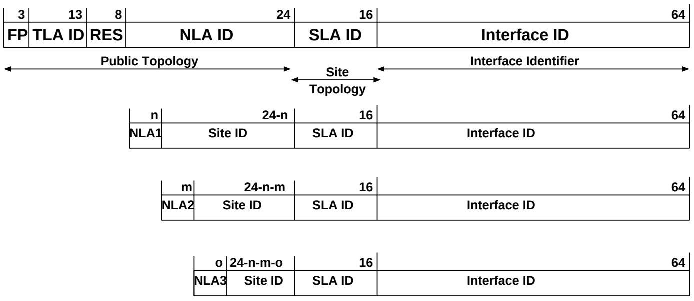


図 5.2: NLA 内の階層構造

このアドレスのレベルごとに、経路の集約・アドレスの割り振り / 割り当てが行なわれる。従って IPv6 では現在の RIPE や NIC といった IR に加えて、TLA ID を取得した組織 (図 5.3:Level

B) と、NLA ID を取得しさらにアドレス割り振りを行なう組織 (図 5.3:Level C) も IR となる。

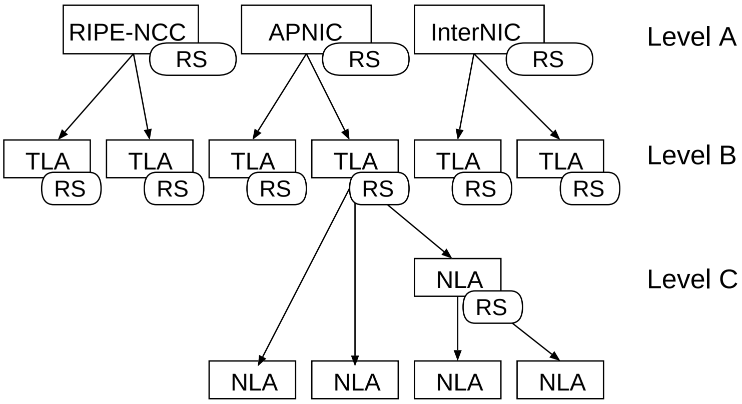


図 5.3: Registry System

本研究では、レジストリシステムを分散させる方法に IPv6 アドレスの階層構造を利用する。経路の集約を行ないアドレス割当を行なう組織、つまり全ての IPv6 レジストリごとにレジストリシステムを設置し，レジストリシステムを分散させる。レジストリシステムとアドレスレベルの関係を図 5.3 に示した。図 5.3 の Level とは、レジストリのレベルを表す。レベル A のレジストリは現在の IR を指す。レベル B のレジストリは、IPv6 アドレスにおける TLA を取得した組織を指す。レベル C のレジストリは、IPv6 アドレスにおける NLA を取得した組織のうち、さらに経路の集約・アドレス割り振りを行なう組織を指す。

このように IPv6 では、アドレスの割り振りを行う組織は全て IR となる。MARS では，全ての IR はアドレスを割り振った組織に関するレジストリデータに責任を持たなければならない。ただし、他のレジストリシステムに委任することも可能である。

MARS では、このような方法でレジストリシステムを分散し、個々のレジストリシステムの負荷を減らす。

第 3.2 節 RS 間通信プロトコル

本節では、システム間通信プロトコルを用いて分散させたシステム間を協調させ、どの情報がどのシステムの管理下であるのか調べることを可能にする方法を述べる。

システムを分散させることによって、個々のレジストリシステムの負荷を軽減することができる。しかし情報が分散されると、システムをまたがる情報の検索が困難になる。そこでMARSでは、RS間通信プロトコルを設計し、個々のレジストリシステムが持つ情報を互いに知らせることで、RS間の協調を実現する。これによって、システムをまたがる情報の検索を可能とする。

情報の検索は、レジストリシステムの階層構造を利用して行なう。各レジストリシステムには、その管理するIPv6アドレスとプレフィックスがある(例　:aaaa:bbbb:cccc::/48)。

複数のレジストリシステムをまたぐ情報の検索は、IPv6アドレスを鍵とするものに限る。組織名からの検索は行なえない。ただし、DNSも利用するため、ネームサーバーに登録されているドメイン名やホスト名からの検索は行なえる。

図5.4に複数のレジストリシステムをまたぐ情報の検索の流れを示した。利用者は、任意のレジストリシステムに検索要求を出す。利用者からの要求が、システムの管理するIPv6アドレスと違う場合、要求されているIPv6アドレスとの比較を行なう。レジストリシステムの階層構造内であるシステムが位置する階層をn階層とすると、そのシステムは、n-1階層に位置する上位レジストリシステムとn+1階層に位置する下位レジストリシステムを知っている。

表5.1の例の場合、検索例1では、要求されている情報はそのシステムの管理下にあるか、下の階層のシステムの管理下にあることがわかる。検索例2では、そのシステムの上の階層か、別のツリーにあるシステムの管理下にあることがわかる。このようにしてシステムは、要求を上の階層に転送するか下の階層に転送するかを判断する。

表5.1: RS間通信を用いた検索例

	管理するIPv6アドレス	aabb:ccdd::/32
検索例1	要求されているIPv6アドレス	aabb:ccdd:eeff:gghh::1
検索例2	要求されているIPv6アドレス	aabb:zzyy:xxww:vvuu::1

複数のレジストリシステムにまたがる情報の検索の仕組みを、図5.5を用いて説明する。

1. 利用者からの要求

   利用者がレジストリシステムAにA:D:H::1というIPv6アドレスに関する情報を要求する。

2. 要求の判別

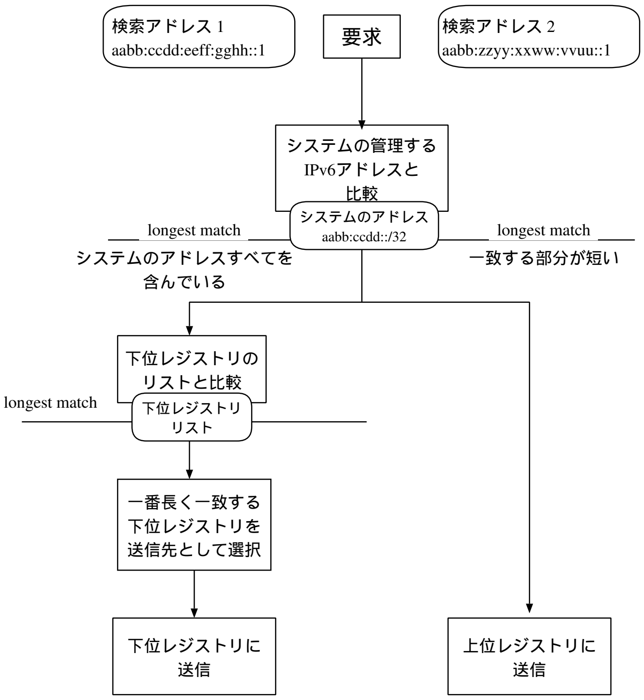


図 5.4: RS 間通信の流れ

要求が A の管理下のデータに関するものでない場合、自分の管理するアドレスと比較する。その結果によって上位レジストリシステムか下位レジストリシステムに転送する。

3-4. 検索

システムの管理するアドレスと比較し、当てはまらなかったら転送する行為を繰り返す。

5. 要求の判別

システムの管理下に要求された情報があった場合、宛先を A にして、該当するシステムのポインタを応答として返す。

6. 宛先に近い方に転送する

宛先とシステムの管理するアドレスを比較し、その結果によって上位レジストリシステムか下位レジストリシステムに転送する。

7. 利用者への応答

A はそのデータを管理しているレジストリシステムのポインタを利用者に答える。

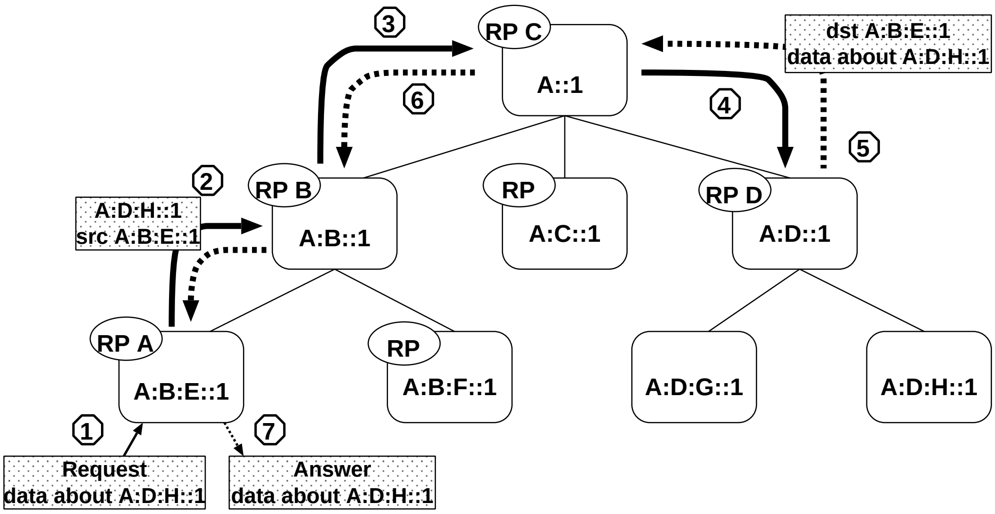


図 5.5: レジストリシステム間通信

MARS では、複数のレジストリシステムをまたがる情報の検索の際に、その情報を管理するレジストリシステムのポインタしか示さない。この方式を選択した理由は、次の 2 つである。

- 規模性

  検索の際に、検索の要求に応じて全てのレジストリデータを応答として返送すると、規模性の点で問題がある。同じような階層構造のシステムである DNS を例にあげて考えても、規模性に欠けることは確実である。そのため、WIDE 6bone Registry では、ポインタのみを送り合う方式を採用した。ポインタだけを示す方式では、キャッシュを用いて通信による負荷を簡単に減らすことができる。

- システム設計の自由度

  レジストリシステムは、レジストリデータの管理を行なうシステムである。しかし、レジストリデータの項目は決まっていない。MARS では、最低限必要な項目以外は自由に設定してよい。その公開の形式もまた自由である。そこで、ここではレジストリシステムへのポインタだけをやりとりし、実際のデータの引き出しはそのレジストリシステムの採用している方式のものとした。

第3.3節　個々のレジストリシステムへの要求事項

本節では、MARSを構成する個々のレジストリシステムへの要求事項をあげる。

MARSを構成する個々のレジストリシステムは、次の項目を守らなくてはいけない。これらを守った上で、それぞれの設計は自由とする。

1. システム間通信プロトコルの実装
   全てのレジストリシステムは、システム間通信プロトコルを実装しなくてはいけない。このプロトコルを用いて、他のシステムへの問い合わせと、それに対する応答を行なう。
2. レジストリシステム検索機能
   ユーザーからレジストリシステムに問い合わせがあった場合、システムは自分の管理下の情報を検索する。該当する情報がどこか他のレジストリシステムの管理下であることが判明した場合、システム間通信プロトコルを用いて他のレジストリシステムに問い合わせを行なう。
3. 最低限必要なレジストリデータ項目
   レジストリシステムが保持すべきレジストリデータは、必ず次の4つの情報項目を含まなければいけない。
   (a) IPv6アドレス
   (b) 組織名
   (c) 担当者名
   (d) 担当者メールアドレス

第6章.　WIDE 6bone Registryの設計

この章では、WIDE 6bone Registry の設計と実装について述べる。WIDE 6bone Registry とは、MARS で提案したモデルに基づくレジストリシステムの 1 つのプロトタイプである。

はじめに本システムを設計・実装した実験環境である 6bone JP について説明する。次に、本システムの全体的な設計を述べ、そしてシステムを構成する各部分の設計について述べる。

第1節.　実験環境

本節では、本研究の実験環境について述べる。

本研究は、6bone JP 上で行われている。6bone JP とは、IPv6 実験ネットワークである 6bone において pTLA(pseudo Top Level Aggregation ID) を割り当てられた 3ffe:500::/24(付録 A:IPv6 アドレス表記法) のネットワークである。その管理は WIDE Project が行ない、主に日本・アジアでのアドレス割当を担っている。

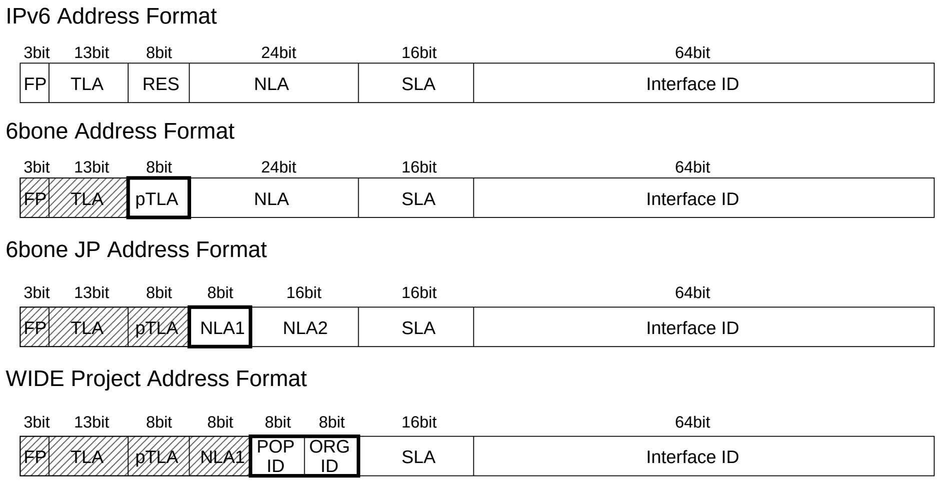


図 6.1: IPv6 アドレス

前章で述べた図 5.3 のモデルを 6bone JP で実現するために、Level A を 6bone、Level B を 6bone JP、Level C を 6bone JP 下の組織と仮定する。そのため、6bone JP では図 6.1 のようなアドレス構造を提案し、これに沿ってアドレス割当を行なった。実際に、1997 年 10 月から図 6.1

のアドレス構造を用いてネットワークの運用を行なっている。

6bone JP では、24bit ある NLA の部分を 8bit+16bit に分け NLA1,NLA2 と呼ぶ。NLA1 は、次の条件のもとに割り振りを行ない、IR の役割を担う組織と定義した。

- 外部組織に NLA2 を割り振る
- 6bone JP のレジストリシステムに情報を登録・更新する
- ネットワーク管理に責任を持ち、他組織に迷惑をかけない
- 報告書の作成

NLA1 は、アドレス割り振りを行なう IR となるアドレスレベルである。従って、割り振ったアドレスに関するレジストリデータの管理を行なわなければならない。つまり、NLA1 自身がレジストリシステムを運用しレジストリデータの管理を行なうか、上位 IR となる WIDE Project の管理するレジストリシステムに管理を委任しなければならない。

NLA1 を取得した組織は、その組織自身の責任で NLA2 アドレスの割り振り／割り当てを行なう。WIDE Project は 6bone JP から NLA1 を取得し、NLA2 の割り当てを行なっている。

NLA2 は、アドレス割り振りを行なわない、IR ではない組織と定義する。NLA2 は、その接続している NLA1 の管理するレジストリシステムに情報の登録・更新を行なう。

第 2 節.　システムの設計

本節では、WIDE 6bone Registry 全体の全体的な設計について述べる。

MARS において、レジストリシステムは経路の集約点ごとに設置されることを想定している。MARS は、個々のレジストリシステムに対し 3 つの要求事項を定めている。すなわち、RS 間通信プロトコルの実装・レジストリシステム検索機能・必須レジストリデータ項目の管理である。本研究では、MARS の定める要求事項に従ったレジストリシステムのプロトタイプを設計・実装する。このプロトタイプが WIDE 6bone Registry である。

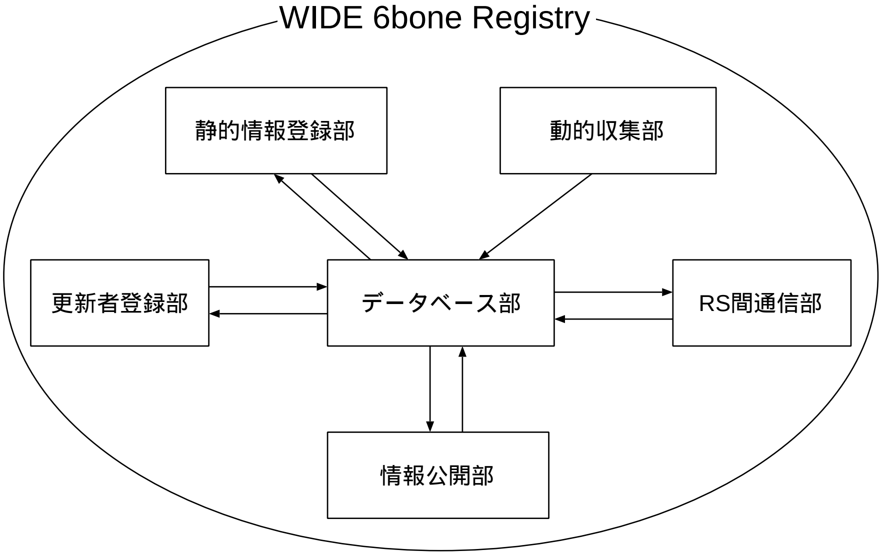


図 6.2: WIDE 6bone Registry システム概略図

WIDE 6bone Registry の全体図を図 6.4 に示す。WIDE 6bone Registry は、「データベース部」「更新者登録部」「静的情報登録部」「動的収集部」「情報公開部」「RS 間通信部」の 6 つの部分で構成される (図 6.2)。システム内での各部の役割を、表 6.1 に示す。

データベースを管理する上で一番問題となるのは、更新が頻繁に行なわれずに入力されている情報が現状と違ってしまうことである。そこで本システムでは、情報項目を静的情報と動的情報に分類する。項目を分類したものを表 6.2 に示す。

静的情報は変化することが少ないため、静的情報登録部において更新者によって手動で更新

表 6.1: 各部の役割

データベース部	情報の格納・情報登録/更新の受付・要求に応じた情報送信
更新者登録部	静的情報の正当な更新者を登録
静的情報登録部	手動で行われる更新のインターフェイスの表示・更新メールの送受信・認証・データベース登録
動的収集部	各組織の代表ルータから情報収集・データベース登録
情報公開部	登録されている情報の整形・公開
RS 間通信部	データベースにない情報に関する要求があった場合の複数のレジストリシステムをまたいだ検索

を行なう。更新者は予め更新者登録部で更新者登録を行う。そして更新時に、静的情報登録部では更新者の認証を行う。WIDE 6bone Registry では、これらの認証の方法として PGP 暗号方式 [10] の電子署名を使用する。

PGP とは、コンピュータで扱う文章・データの暗号化や復号化、電子署名に用いられるソフトウェアである。PGP は、公開鍵暗号方式に基づいた暗号方式である。

電子署名とは、欧米におけるサインや日本における印鑑を電子的に実現したものである。これを用いて、送信する平文の内容の要約を暗号化したものをメッセージに添付し、内容の変更を検出し作成者の「なりすまし」を防ぐことができる。

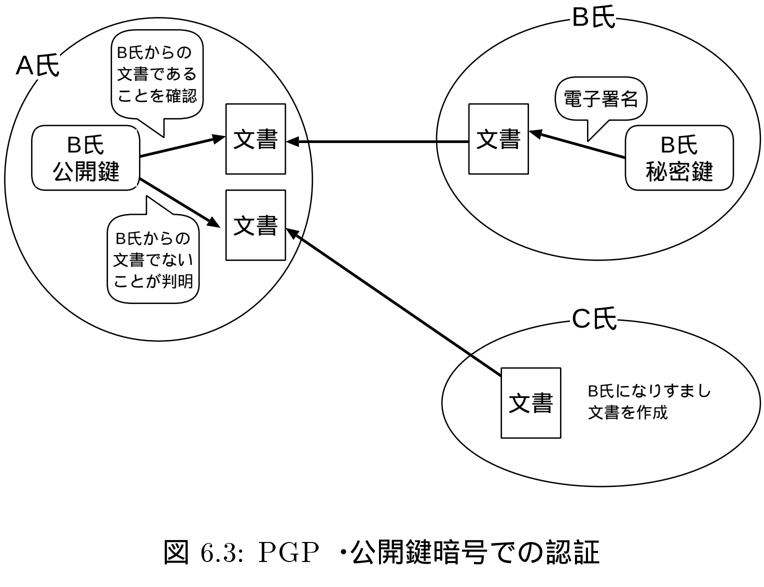


図 6.3: PGP・公開鍵暗号での認証

図6.3に図示したが、A氏は予めB氏の公開鍵を受け取っておく。B氏は、A氏に文書を送る時に、B氏の秘密鍵を用いて電子署名する。A氏は、文書の電子署名をB氏の公開鍵で復元し、復元できればB氏からのものであり、復元できなければ違う人からのものであると認証を行うことができる。

WIDE 6bone Registryにおける認証は、メールを利用する。PGP[11]には、mew[1] やEudora[2] 、Becky![3] などの主要なメールソフトが対応している。電子署名を用いれば、更新メールの認証を行なうことが可能である。そのため、WIDE 6bone RegistryではPGP認証を認証方法として採用した。

動的情報は日々変化があり、これを手動で更新しなければならなければ更新者の負担を増やし、頻繁に更新されずに現状と食い違うことが予想される。そこで動的情報は、本システムの動的収集部によって動的な収集・更新を行う。

データベース内の情報は、情報公開部によって利用者にわかりやすいかたちに処理される。そして、利用者からの要求に応じ、情報公開部によって用意されたかたちでの公開を行う。

利用者の要求する情報がデータベース内にない場合は、RS間通信プロトコルを用い複数のレジストリシステム間をまたいだ検索を行う。そして検索結果を利用者に答える。

本システムのデータベース項目を静的な情報項目と動的な情報項目に分類すると、表6.2となる。

表6.2: 動的情報と静的情報

動的情報	静的情報
接続先	組織名
Ping Hostのアドレス	住所
ゲートウェイの名前	電話番号
ゲートウェイのアドレス	AS番号
ゲートウェイの形態	接続目的
使用する経路プロトコル	担当者
アナウンスしている経路	アナウンスする経路
	ネームサーバー

---

[1] ftp://ftp.mew.org/
[2] http://www.kuni.co.jp/
[3] http://www.rimarts.co.jp/

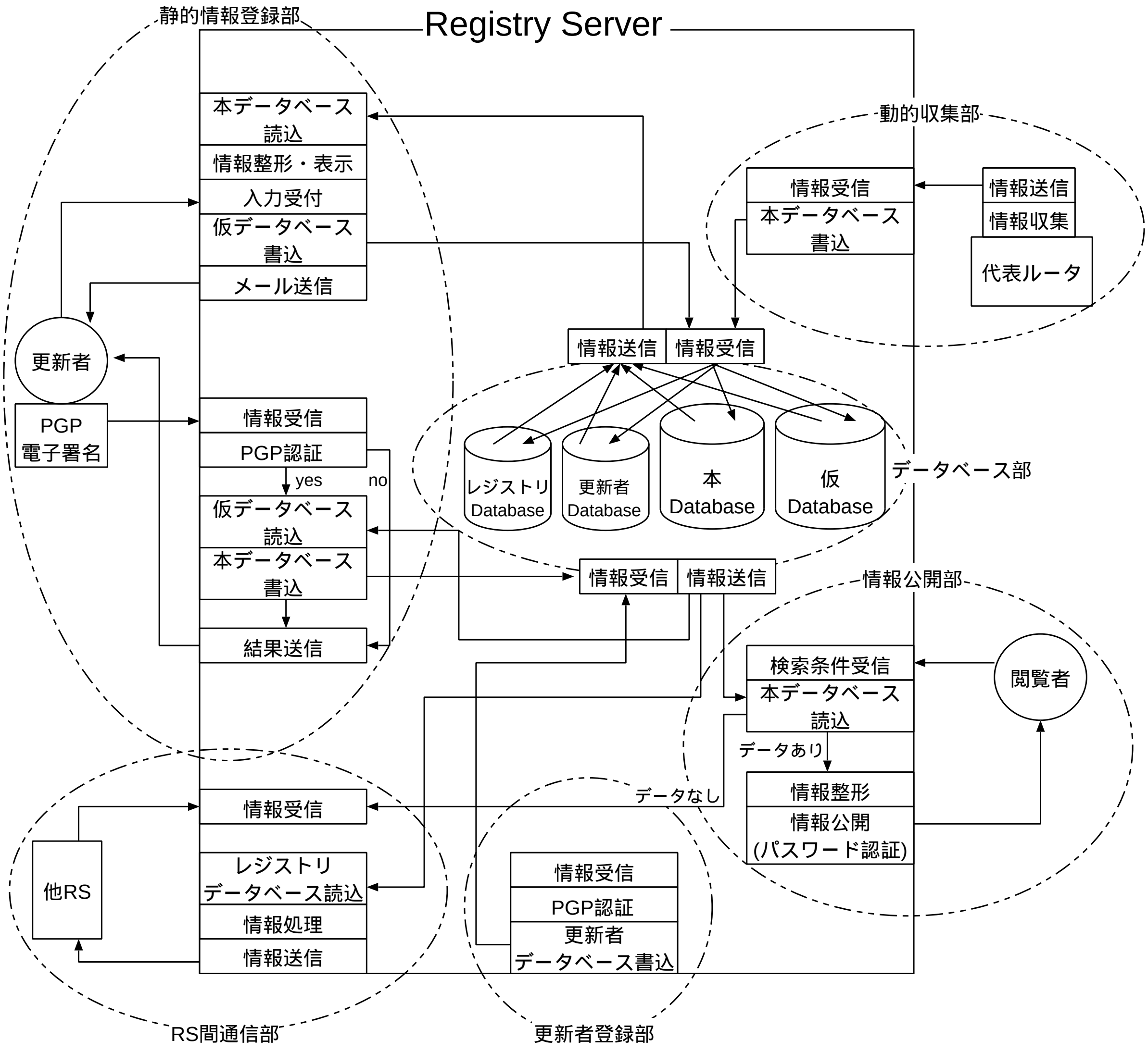


図 6.4: WIDE 6bone Registry システム全体図

第 2.1 節 データベース部

WIDE 6bone Registry では、4 つのデータベースを使用する。それぞれ、本データベース、仮データベース、更新者データベース、レジストリデータベースと呼ぶ。その構成を図 6.5 に示す。

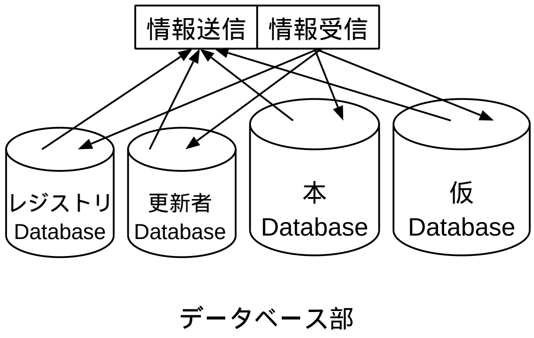


図 6.5: データベース部構成

それぞれのデータベースの役割を表 6.3 に示した。

表 6.3: データベースの役割

本データベース	レジストリデータを格納
仮データベース	静的情報の手動更新時に一時的にレジストリデータを格納
更新者データベース	各組織の正当な更新者のデータベース
レジストリデータベース	上位レジストリシステムと下位レジストリシステムを格納

データベース入出力

本システムのデータベースを操作・管理するデータベース言語は、SQL[12] を採用した。SQL は、リレーショナルデータベースを操作する言語として幅広く使われている。リレーショナルデータベース言語の中で SQL は唯一規格化されたもので、データベース定義・データベース操作・トランザクション管理という 3 つのデータベース管理機能を提供している。[13]

本データベース

本データベースは、レジストリデータを登録するデータベースである。レジストリデータ項目は、表 6.4 の通りに設定した。登録する情報は、ネットワーク情報・組織情報・ゲートウェイ情報・経路情報の 4 種類に分類される。

表 6.4: データベース項目

ネットワーク情報	組織情報	ゲートウェイ情報	経路情報
IPv6 アドレス 接続先 Ping Host ネットワークトポロジ図 ネームサーバー	組織名 住所 電話番号 AS 番号 接続目的 担当者名 メールアドレス	ゲートウェイの名前 ゲートウェイのアドレス ゲートウェイの形態	アナウンスする経路 経路制御プロトコル
最終更新者・最終更新日			

仮データベース

本システムではデータベースの更新の際に、正当な更新の要求であるか認証を行なう。更新の際のインターフェイスには Web を用い、その後 PGP メールで認証を行なう。そのため本システムでは、レジストリデータ用のデータベースを 2 つ持つ。1 つは Web からの入力内容を一時的に保管する仮データベースであり、もう 1 つは認証が済んだ正式な内容を保管する正データベースである。

仮データベースの項目は、本データベースの項目に ID 番号を加えたものである。

更新者データベース

本システムでは、手動のデータベース更新の際の認証のために、更新者データベースを持つ。更新者データベースの項目を表 6.5 に示した。

実際にレジストリデータの更新を行なえるのは、更新者データベースに登録されている者だけである。

表 6.5: 更新者データベース項目

組織名	更新者名
	更新者メールアドレス PGP-ID
	PGP 公開鍵
	更新者登録日

レジストリデータベース

MARS では、各レジストリシステムは、その直属の1階層上のレジストリシステムと、直属の1階層下のレジストリシステムのアドレスを知らなくてはならない。この情報を持つのが、レジストリデータベースである。

第 2.2 節 更新者登録部

レジストリデータベースの静的情報の更新を行なう者は、予め更新者としてシステムに登録しておく必要がある。

アドレス申請の際に、申請を行った者は PGP 公開鍵をレジストリ管理者に送らなければいけない。したがって WIDE 6bone Registry では、アドレスを取得した組織は、必ず申請者の PGP 公開鍵が関係づけられて登録されている。

申請者以外の者が、WIDE 6bone Registry の更新を行いたい場合は、更新者登録を行う必要がある。その手順は次の通りである (図 6.6)。

更新者はレジストリ管理者に、更新を行なう組織と更新者の名前・メールアドレス・PGP 公開鍵をメールで送る。この際、メールを出した人物がその組織の正当な更新者であるかを証明するために、申請者の電子署名をともにメールする。これは申請者ではなく、同一組織で既に WIDE 6bone Registry の更新者として登録されている人物の電子署名でも可能である。そして、申請者の電子署名が正しいものであった場合、レジストリ管理者は更新者登録を行う。

レジストリ管理者が更新者登録を行なった後から、登録した組織の情報の更新が行なえる。一つの組織に対して複数の更新者がいてもかまわない。

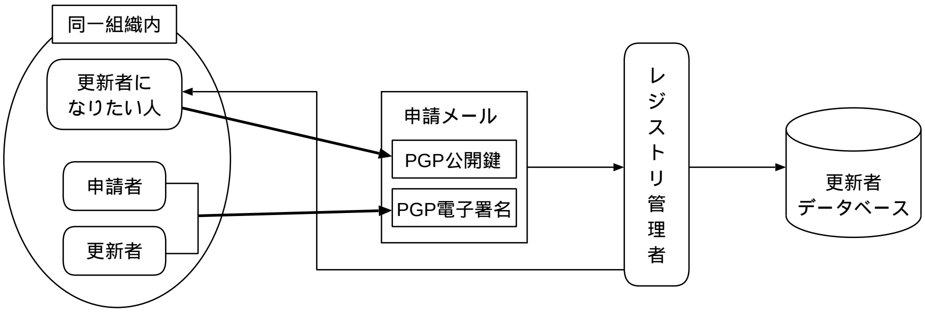


図 6.6: 更新者登録の手順

このように、WIDE 6bone Registry では、既に更新者登録を行った者が、電子署名をしてレジストリシステムに返送することで認証を行う。

第 **2.3** 節　静的情報登録部

静的情報登録部では、レジストリデータベースの静的情報項目の更新を行う。静的情報登録部は、情報更新インターフェイス ·更新者認証 ·情報登録 ·結果告知という 4 つのモジュールから構成される。手動情報登録部の構成と更新のながれを図 6.7 に示す。

情報更新インターフェイス

静的情報項目は、手動での更新になるため、更新者のためのインターフェイスを用意する。

- 本データベース読込
  更新を行う組織の既に登録されている情報を本データベースから読み込む。
- 情報整形 ·表示
  本データベースから読み込んだ情報を、整形し表示する。
- 入力受付
  更新者が表示されている内容を訂正する。その訂正の入力を受け付ける。
- 仮データベース書込
  入力された内容を一時的に仮データベースに書き込む。この際、登録した内容には ID 番号が降られる。仮データベースの中身は、一定期間を過ぎると破棄される。

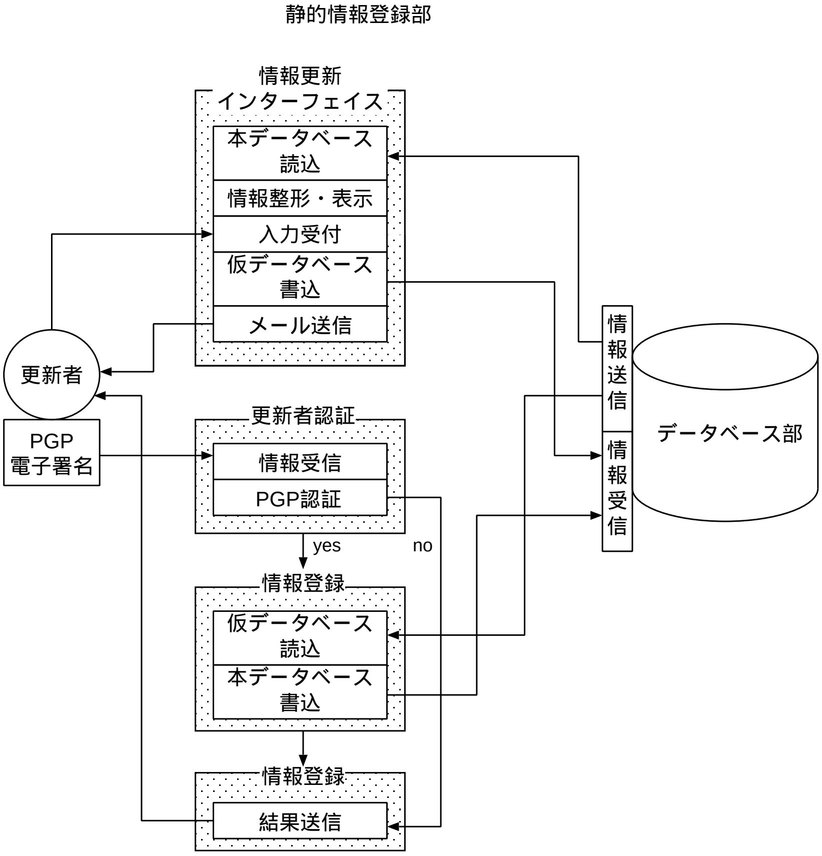


図 6.7: 静的情報登録部の構成

- メール送信

  更新内容は、その更新を行ったのが正当な更新者であるか判別するために更新者宛にメールで送信される。このメールには、仮登録した ID 番号が記されている。

更新者認証

更新者認証は、情報の受信と認証を行う 2 つのモジュールから構成される。

- 情報受信

  更新者は、その更新が正当なものであるか認証を行なうために、情報更新インターフェイスから送信されたメールに PGP 電子署名を行いレジストリシステムに返送する。このメールを受け取り、文書内に記述された ID 番号と PGP 電子署名を取り出す。取り出した PGP 電子署名を PGP 認証を行うモジュールに渡す。

- PGP 認証
  送られてきた電子署名を予め登録された PGP 公開鍵で復号化し、更新者が正当な更新者であるかを認証する。認証に成功すれば情報登録モジュールに渡し、失敗した場合は結果告知モジュールに渡す。

情報登録

更新者認証に成功した場合、情報登録モジュールは、更新者認証モジュールからメールによって送られた ID 番号を受け取る。仮データベースから本データベースに情報を移動させる。

- 仮データベース読み込み
  更新者モジュールから渡される ID 番号をもとに、仮データベースから情報の読み出しを行う。
- 本データベース書き込み
  仮データベースから読み出した情報を、そのまま本データベースに書き込む。書き込み終ったら、書き込み終了の旨を結果告知モジュールに知らせる。

結果告知

認証/本データベースへの書き込みの結果を更新者にメールで報告する。

第 2.4 節 動的収集部

レジストリが管理する組織の代表ルータにクライアントを置く。レジストリサーバーは、それらのクライアントから直接動的な情報を収集する。

クライアント

- 情報収集
  ルータから収集する情報を、表 6.6 に示す。種類 A の情報は 1 日 1 回、種類 B の情報は 3 時間に 1 回収集される。
- 情報送信
  収集した情報は、そのままレジストリシステムに送信される。

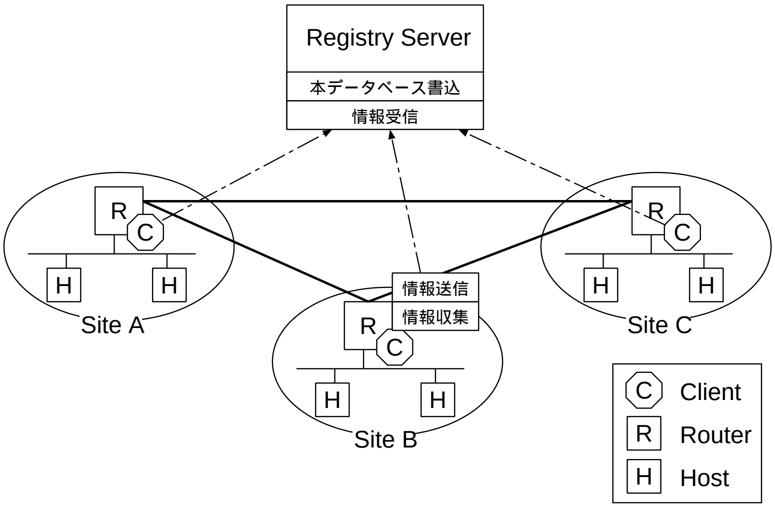


図 6.8: 動的収集システム

表 6.6: 自動収集する項目

情報の種類	収集する項目
A	接続先 ·ゲートウェイのアドレス ·OS ·名前 ·デバイス名
B	到達性 ·アナウンスしている経路 ·来ている経路

レジストリシステム

- 情報受信

  クライアントから送られた情報は、レジストリシステムで受信され、データベースに登録するかたちに整形される。

- 本データベース書き込み

  整形した情報を本データベースに書き込む。

第 2.5 節　情報公開部

情報公開部は、検索情報受信 ·本データベース読み込み ·情報整形 ·情報公開の 4 つのモジュールで構成される。その構成を、図 6.9 に示す。

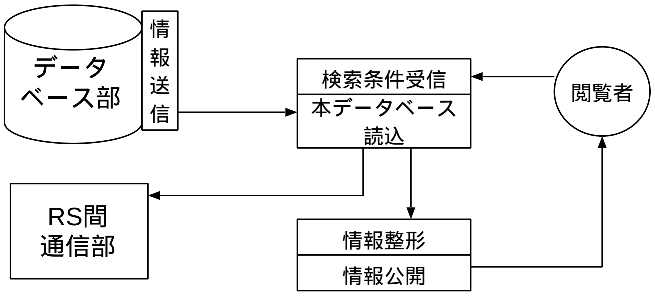


図 6.9: 情報公開部構成

検索情報受信 ·本データベース読み込み

情報公開部では利用者からの検索条件を受け、それに該当する情報の公開を行う。利用者は、表 6.8 にある表の項目の情報をさまざまな検索条件から見ることができる。検索情報受信モジュールでは、検索条件を受け取ると、その検索条件でデータベースに要求する SQL 文を作成する。

この情報検索受信モジュールで作成した SQL 文をもとに本データベースから情報を読み込む。

検索条件にあてはまる情報がない場合で、検索条件がアドレスである場合、それを RS 間通信プロトコルに沿ったかたちで RS 間通信部に渡す。RS 間通信部から応答があれば、それを表示する。検索条件がホスト名であった場合、システムは DNS へ問い合わせを行う。そのホストの IPv6 アドレスが登録されていた場合は、検索条件がアドレスである場合と同様の処理を行う。

それ以外の場合は、検索条件に合った情報は登録されていないというメッセージを表示する。

情報整形

本データベースから読み込んだ情報を、利用者にわかりやすいかたちに整形する。WIDE 6bone Registry では、広域ネットワーク管理支援を行う。そのため情報整形モジュールで、ネットワーク構成の図示や、組織ごとに対比させたい情報などを表に整形する。これにより、ネットワークの構成管理や、到達性の図示による障害発見が可能になる。

情報公開

登録されている情報の公開の際に、誰にどこまで公開するかの認証を行う必要がある。そのため、情報に 4 つのセキュリティレベル (図 6.7) を設定する。

セキュリティレベル A に位置する情報は、一般公開し、閲覧時に認証は行わない。

表 6.7: 情報公開時における情報のセキュリティレベル

セキュリティレベル A	一般に公開
セキュリティレベル B	WIDE 6bone Registry に情報を登録している組織の人にのみ公開
セキュリティレベル C	登録内容の組織とネットワーク的に関連のある組織にのみ公開
セキュリティレベル D	登録者が設定した範囲に公開

セキュリティレベル B に位置する情報は、WIDE 6bone Registry に情報を登録している組織にのみ公開する情報である。そのため、WIDE 6bone Registry に登録を行っている組織には、セキュリティレベル B のパスワードが配布される。そのパスワードを用い、認証を行う。

セキュリティレベル C に位置する情報は、登録内容の組織とネットワーク的に関連のある組織にのみ公開する情報である。WIDE Project には複数の接続ポイントがある。WIDE 6bone Registry では、接続ポイントごとに組織をグループ分けし、各組織にそれぞれの属するグループのセキュリティレベル C のパスワードが配布される。そのパスワードを用い、認証を行う。

セキュリティレベル D に位置する情報は、登録者が設定した範囲内で公開する。セキュリティレベル D の情報とは、WIDE 6bone Reigstry のレジストリデータ項目における「その他」に登録されている情報で、なおかつセキュリティレベルが D に設定されているものである。「その他」の項目は、登録時に各自でセキュリティレベルを設定できる。設定する範囲は、組織ごとである。各組織には、組織ごとにセキュリティレベル D のパスワードが配布されている。そのパスワードを用い、認証を行う。

表 6.8: レジストリデータ項目とセキュリティレベル

レベル A	レベル B	レベル C	レベル D
IPv6 アドレス 組織名 AS 番号 アナウンスする経路 経路制御プロトコル	接続先 Ping Host ネームサーバー 住所 電話番号 接続目的 担当者名 担当者メールアドレス	ゲートウェイの名前 ゲートウェイのアドレス ゲートウェイの形態 ネットワークトポロジ図	その他

第 2.6 節 RS 間通信部

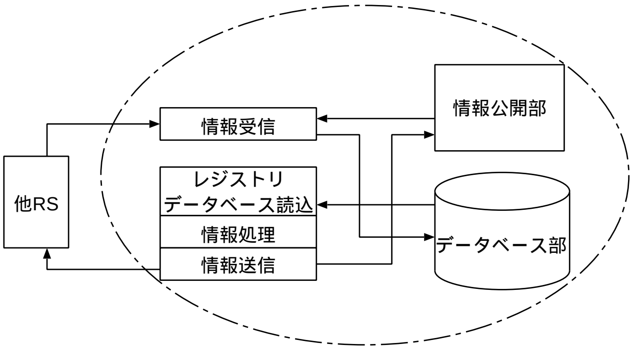


図 6.10: RS 間通信

RS 間通信部は、情報受信・レジストリデータベース読み込み・情報処理・情報送信を行う。これは、各レジストリシステムが必ず持つように、MARS で定義されている機能である。

情報受信

RS 間通信部には、複数のレジストリ間をまたいだ検索要求が送られてくる。検索の送信元は、そのレジストリシステム自身の情報公開部か、他のレジストリシステムである。検索の要求は、次に示した形式で送られてくる。検索中は TYPE が REQ になり、DEST_ADDR は空白となっている。検索したいアドレスが SEARCH_ADDR に入る。

TYPE:	REQ/ACK
TO:	DEST_ADDR
FROM:	SRC_ADDR
SEARCH_ADDR	

レジストリデータベース読み込み・情報処理

検索の要求を受け取ると、SEARCH_ADDR が WIDE 6bone Registry の管理下のアドレスと一致するか比較する。一致した場合、次の変更を加え、情報送信モジュールに渡す。

- TYPE フィールドの REQ を ACK に書き換え

- FROM フィールドを TO フィールドにコピー
- FROM フィールドに WIDE 6bone Registry のアドレスを入力

一致しなかった場合は、どこまで同じだったかを見る。

一致する部分が、WIDE 6bone Registry のアドレスより短い場合は、レジストリデータベースから上位レジストリのアドレスを読み込み、そのアドレスと検索要求の内容をそのまま情報送信モジュールに渡す。

一致する部分が、WIDE 6bone Registry のアドレスと同じ場合は、レジストリデータベースから下位レジストリのアドレスを読み込み、読み込んだアドレスと SEARCH_ADDR を比較する。そして、一番長く一致する下位レジストリのアドレスと検索要求の内容をそのまま情報送信モジュールに渡す。

情報送信

情報処理モジュールから渡されたものの、TO フィールドが空だった場合、内容には一切変更を加えずにともに渡されるアドレスに送信する。

TO フィールドにアドレスが入力されている場合、そのアドレス宛に送信する。

第7章.　WIDE 6bone Registryの実装

本章では、WIDE 6bone Registry の実装に付いて述べる。WIDE 6bone Registry は、6bone JP と NLA1 を取得している WIDE Project で実際に運用されている。

第1節.　データベース部

データベース部は、フリーのデータベースソフトウェアである PostgreSQL ver6.3.2 を使用した。[14] PostgreSQL は、ほとんどの UNIX プラットフォームに移植されている。また、クライアント用のライブラリのみに限定すれば、Windows や NEXTSTEP でも利用が可能である。したがってレジストリサーバの OS を選ばず、またさまざまなかたちでの利用が可能である。

また、多様なプログラムングインターフェイスに対応しており、C ・C++ ・Tcl/Tk ・Perl ・Java ・Python ・ecpg などが標準で使用できる。これに加えてサードパーティからも各種インターフェイスが提供されており、代表的なものでは PHP/FI、ruby などがあげられる。

このような特徴から、WIDE 6bone Registry のデータベース部には PostgreSQL を採用した。WIDE 6bone Regstry では、データベース内の情報の管理や外部との入出力にこの PostgreSQL を使用している。

PostgreSQL で使用できるデータベースの問い合わせ文の主なものを、表 7.1 にあげた。これらの問い合わせ文は、様々な言語から様々なかたちで呼び出せる。

表 7.1: PostgreSQL におけるデータベース問い合わせ文

SELECT * FROM * WHERE	指定した条件を満たすデータ取り出し
INSERT INTO * VALUES *	指定した表に新しい行を追加
UPDATE * SET * WHERE *	データの更新
DELETE FROM * WHERE *	データの削除

第 2 節.　更新者登録部

更新者登録の受け付けは、メールを使用する。更新者の判断は、レジストリシステム管理者が行う。更新者登録を行うには、メールに次の項目を記述してレジストリシステム管理者に送る。

- 更新者氏名
- 更新を行う組織名
- 更新者メールアドレス
- 更新者の PGP ID
- 更新者の PGP 公開鍵
- アドレス割り当て時に登録されたアドレス申請者、もしくは既に更新者登録された更新者の電子署名

電子署名が正しいものであった場合、レジストリシステム管理者は更新者データベースにメールの内容を登録する。そして登録作業が終了すると、更新者にその旨をメールする。それぞれのメールの例を、図 7.1 と図 7.2 にあげる。

```
To: mie@sfc.wide.ad.jp
Subject: Re: Maintainer
---------
更新者登録を行いました。
WIDE 6bone Registry の更新をよろしくお願いします。



----
WIDE 6bone Registrey

> 組織名: Keio Univ.
> 更新者: 若井宏美 (mie@sfc.wide.ad.jp)
> PGP ID: Hiromi Wakai(mie@sfc.wide.ad.jp)
```

図 7.1: 更新者登録終了告知メール例

```
To: registry@v6.sfc.wide.ad.jp
From: mie@sfc.wide.ad.jp
Subject: Maintainer
---------
更新者登録をお願いします。
Keio Univ. のアドレス申請者の PGP 電子署名を付けておきます。

組織名: Keio Univ.
更新者: 若井宏美 (mie@sfc.wide.ad.jp)
PGP ID: Hiromi Wakai(mie@sfc.wide.ad.jp)



-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
Version: 2.6.3i

mQCNAzXBLAMAAAEEANqWMOQxGJARK78x5mT9ebYNIINoX/Ep7quD0
(中略)
XJq1D+AIkn0=
=z4ip
-----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
```

図 7.2: 更新者登録申請メール例

第 3 節.　静的情報登録部

情報更新インターフェイス

静的情報更新は WWW ブラウザをインターフェイスとし、データベースとのデータの入出力には PHP/FI を使用する。

PHP/FI

PostgreSQL が管理するデータを、WWW を使って検索・更新するためには、クライアントから受け取った情報を基に PostgreSQL に対し SQL で要求を発行し、結果をクライアントに返す仕組みが必要になる。

クライアントの WWW が理解できるのは、HTML で記述されたデータだけである。そのため、発行した SQL に対して PostgreSQL が返すデータを含んだ HTML を動的に生成するためのプログラムが必要になる。こういった処理を簡単に記述できるスクリプト言語が PHP/FI(Professional Home Page Construction Kit/Form Interpreter)[1] である。PHP/FI は HTML 中に直接記述できる。その例を図 7.3 に示した。

```
<HTML>
<TITLE>6Bone [WIDE] REGISTRY</TITLE>
<BODY TEXT="#000000" BGCOLOR="#FFFFFF">
<H1>Registry Update</H1><HR>
<?
echo "<FORM ACTION=\"update.phtml\" METHOD=\"POST\">";
        if($type == "pop"){$db = "pop_data";}
        elseif($type == "org"){$db = "org_data";}

        $conn = pg_Connect("localhost", "5432", "", "", "registry");
        if (!$conn) {
                echo "connect error!!\n";
                exit;
        }
pg_FreeResult($result);
pg_Close($conn);
>?
</BODY>
</HTML>
```

図 7.3: PHP/FI を使用した HTML 例

JavaScript も HTML 中に直接記述できるが、JavaScript はクライアント側で処理を行う仕組みを採用している。そのため、各クライアントの WWW ブラウザが JavaScript に対応していないという必要があり、また、各社の製品によって WWW ブラウザの JavaScript への対応が異なるという問題点がある。

PHP/FI は記述された処理をサーバ側で実行するため、クライアント側における WWW ブラウザの差異を考慮する必要がない。

また、サーバへの負荷も軽く済むという利点もある。CGI スクリプトも PHP/FI と同様にサー

---

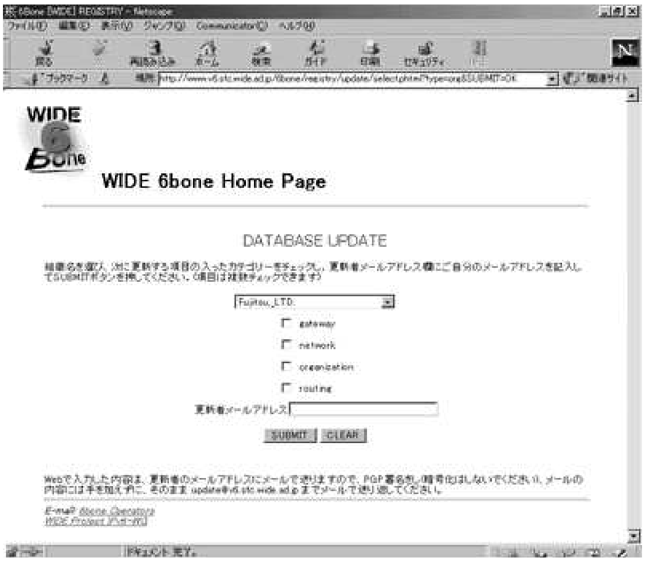
[1] http://jp.php.net

バ側で処理される。しかし、これらは要求があるたびに子プロセスが生成されるため、その処理のオーバーヘッドが処理速度を低下させたり、サーバへの負担を増大させてしまうことがある。

このような理由から、WIDE 6bone Registry では PHP/FI ver.3.02 を採用した。

WWW ブラウザによる入出力

静的情報更新を受け付ける Web ページは、はじめに更新を行う組織の選択画面が表示される (図 7.4)。更新を行う組織と自分のメールアドレスを入力する。



WIDE 6bone Home Page

DATABASE UPDATE

Fujitsu_LTD.

☐ gateway
☐ network
☐ organization
☐ routing

更新者メールアドレス

SUBMIT　CLEAR

E-mail: 6bone Operators
WIDE Project

図 7.4: 静的情報更新における組織選択画面

更新を行う組織を受け取ると、WWW ブラウザは PHP/FI を用いて本データベースに既に登録されているデータを読み込む。読み込んだデータは、更新画面の WWW ブラウザのフォームに入力しておく。更新者は、既に登録しているデータのうち、訂正を行いたいデータのみ書き換える。

すべての入力が終わると確認画面が出て、終了する。この時、入力された内容には更新が行われた年月日と時間から生成した ID 番号が降られる。そして WWW ブラウザは、PHP/FI を用いて仮データベースへの登録を行う。また WWW ブラウザは入力された内容と ID 番号を、組織選択画面で入力されたメールアドレス宛てにメールで送信する。

更新者認証

更新者は、WWW ブラウザから届いたメールを PGP 鍵で署名をし，内容をすべて引用した上で update@v6.sfc.wide.ad.jp 宛てに返信する。このメールは、静的情報登録部の更新者認証モジュールで受け取る。更新者認証には Perl スクリプトを使用した。

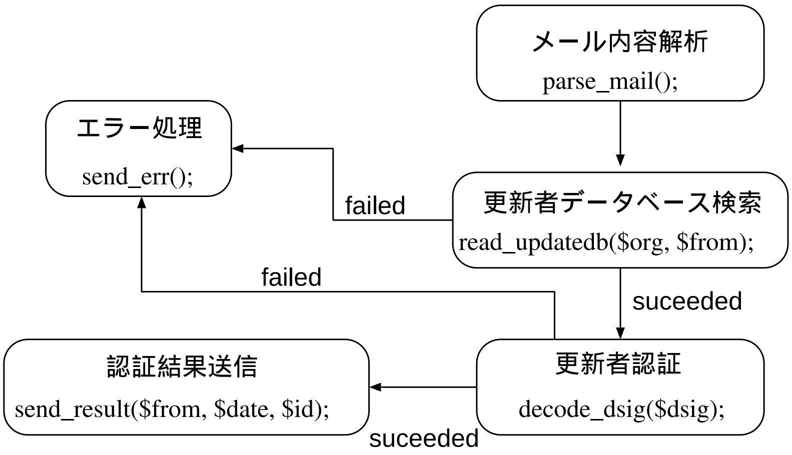


図 7.5: 更新者認証スクリプト

更新者認証の流れを図 7.5 に示した。はじめにメールから、差出人、日付、更新組織名、ID 番号、電子署名を取り出す。更新者データベースから更新組織に関する情報を読みだし、差出人がその更新組織の更新者として登録されているか調べる。

登録されている場合、電子署名を復号化し更新者からの更新要求であるかの認証を行う。認証に成功すると、情報登録部にメールから取り出した差出人・日付・ID 番号を渡す。

差出人が更新組織の更新者として登録されていない場合や、電子署名の認証に失敗した場合は、更新者認証エラーとして結果告知部に渡す。

情報登録

情報登録には Perl スクリプトを使用した。情報登録の流れを図 7.6 に示した。差出人・日付・ID 番号を受け取ると、仮データベースからその ID 番号に関するデータを読み込む。読み込んだデータのうち、最終更新者を差出人に、最終更新日を日付にそれぞれ書き換える。そして、データを本データベースに更新する。更新が正常に終了すると、正常終了として結果告知部に渡す。更新が正常に終了しなかった場合は、データベース更新エラーとして結果告知部に渡す。

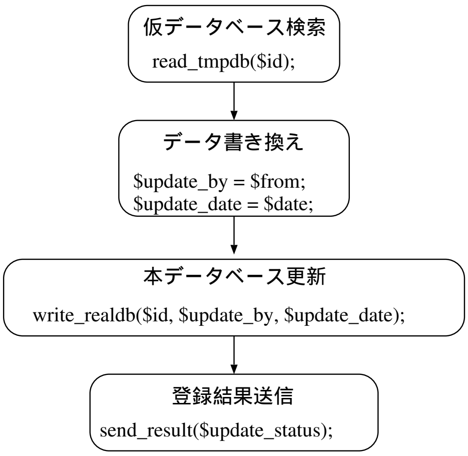


図 7.6: 情報登録スクリプト

結果告知

結果告知には Perl スクリプトを使用した。更新者に送られるメッセージには表 7.2 の 3 種類がある。これらのメッセージのどれかが更新者に送られ、静的情報更新は終了する。

表 7.2: 静的情報登録部結果告知メッセージ

正常終了	正常に静的情報更新が終了した
更新者認証エラー	正当な更新者からの更新ではないため更新を拒否した
データベース更新エラー	データベース更新時になんらかのエラーが出たため更新が行えなかった

第 4 節.　動的収集部

クライアント

動的収集部のクライアントは、情報収集モジュールと情報送信モジュールから構成される。

情報収集モジュールは Perl スクリプトを使用して実装した。情報収集モジュールは、複数のルータリストをファイルとして持つ。そして、1 日に 1 回、ifconfig ・uname を行い、3 時間に 1 回、traceroute ・netstat を行う。行った結果は、情報送信モジュールに渡され、レジストリサー

バに送られる。

動的収集クライアントの中心部分を図 7.7 に載せた。クライアントは、この動的収集プログラムを cron を用いて情報収集を行う。

```
if ($ARGV eq "-a") {
    &exec_command($ifconfig, "-a");
    &exec_command($uname, "-a");
} elsif ($ARGV[0] eq "-b") {
    @router = &get_routers($router_list_file);
    for ($i = 0; $router[$i] ; $i++) {
        &exec_command($traceroute, $router[$i]);
    }
    &exec_command($netstat, "-rn");
}

send_output($rsname, @log_files);
```

図 7.7: 動的収集クライアント

レジストリサーバ

レジストリサーバには Perl スクリプトを使用した。レジストリサーバでは、クライアントから送られて来た情報を解析 (表 7.3) し、整形する。

表 7.3: 動的収集部における動的情報の解析

ifconfig 結果	ゲートウェイのアドレス ・デバイス名
uname 結果	OS ・名前
traceroute 結果	接続先 ・到達性
netstat 結果	自組織に来ている経路 ・他組織のアナウンスしている経路

整形したこれらのデータを本データベースに登録する。この際、送信された日時を最終更新日に登録する。

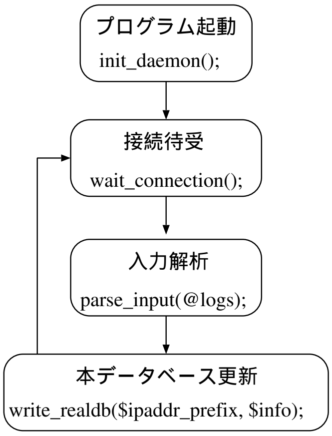
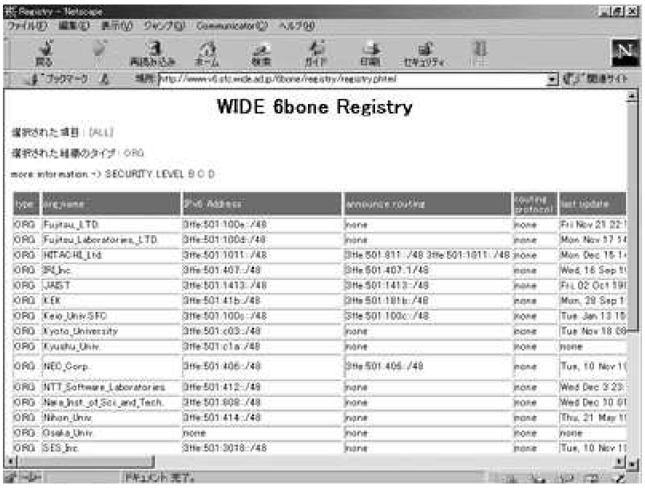


図 7.8: レジストリサーバ

第 5 節.　情報公開部

情報公開のインターフェイスには WWW ブラウザを使用した。データベースとの入出力には、PHP/FI を使用した。WWW ブラウザからは、一覧表の表示 (図 7.9) と組織名 ・アドレス指定での表示、そしてキーワードからの検索が行える。利用者がどの種類の表示を行うかを選択すると、WWW ブラウザは PHP/FI を用いてそれに関するデータをデータベースから読み込み、整形して表示する。



http://www.v6.sfc.wide.ad.jp/6bone/registry/registry.phtml

WIDE 6bone Registry

選択された項目：[ALL]

選択された組織のタイプ：ORG

more information -> SECURITY LEVEL B C D

type	org.name	IPv6 Address	announce routing	routing protocol	last update
ORG	Fujitsu_LTD	3ffe:501:100a::/48	none	none	Fri Nov 21 22:
ORG	Fujitsu_Laboratories_LTD	3ffe:501:1004::/48	none	none	Mon Nov 17 14
ORG	HITACHI_Ltd	3ffe:501:1011::/48	3ffe:501:811::/48 3ffe:501:1011::/48	none	Mon Dec 15 1
ORG	IRI_Inc	3ffe:501:407::/48	3ffe:501:407:1/48	none	Wed, 16 Sep 1
ORG	JAIST	3ffe:501:1413::/48	3ffe:501:1413::/48	none	Fri, 02 Oct 19
ORG	KEK	3ffe:501:41b::/48	3ffe:501:181b::/48	none	Mon, 28 Sep 1
ORG	Keio_Univ.SFC	3ffe:501:100c::/48	3ffe:501:100c::/48	none	Tue Jan 13 15
ORG	Kyoto_University	3ffe:501:c03::/48	none	none	Tue Nov 18 08
ORG	Kyushu_Univ.	3ffe:501:c1a::/48	none	none	none
ORG	NEC_Corp.	3ffe:501:406::/48	3ffe:501:406::/48	none	Tue, 10 Nov 1
ORG	NTT_Software_Laboratories	3ffe:501:412::/48	none	none	Wed Dec 3 23:
ORG	Nara_Inst._of_Sci._and_Tech.	3ffe:501:808::/48	none	none	Wed Dec 10 0
ORG	Nihon_Univ.	3ffe:501:414::/48	none	none	Thu, 21 May 1
ORG	Osaka_Univ.	none	none	none	none
ORG	SES_Inc.	3ffe:501:3018::/48	none	none	Tue, 10 Nov 1

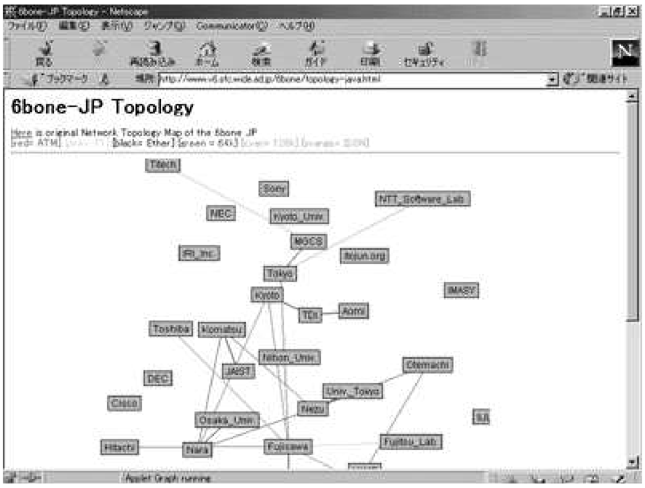
図 7.9: 情報公開部におけるレジストリデーター覧表

はじめはセキュリティレベル A の項目のみ表示され、同時に他のセキュリティレベルの情報を表示するボタンが表示される。さらに詳しい情報が知りたい場合はそのボタンを押すと、パスワードを求められる。利用者が正しいパスワードを入力すると、詳しい情報が得られる。この認証には、WWW ブラウザのパスワード認証機能を使用した。

また情報公開部では、3 時間に 1 回動的収集部からデータの更新が行われるたびにネットワーク構成図を自動的に生成する。

組織の配置だけ描かれた図に、本データベースの内容から接続形態で色分けした線を引く。どの組織とどの組織をつないでいたかは log として残される。最新の結果は過去 24 回の log と比較され、あるはずの線が消えていた場合、そこには赤い点線がひかれる。これは、なんらかの障害で到達性がなくなったと思われる場所である。

この図の例を図 7.10 に示す。


6bone-JP Topology

Here is original Network Topology Map of the 6bone JP

図 7.10: 自動ネットワーク構成図示

第 6 節.　RS 間通信部

RS 間通信部には、Perl スクリプトを使用した。プログラムの流れを図 7.11 に示す。

レジストリサーバでは、常に RS 間通信デーモンを起動させておく。RS 間通信デーモンは、通常は要求の待ち受け状態である。要求を受けると、コマンド解析部で要求を受け付け、要求元の

アドレスの解析を行う。要求が情報公開部から送られて来た場合、情報送信関数に渡す。その他の場合はアドレスの比較を行う。比較の結果一致した場合は、送信されてきた内容を ACK に書き換え、送信する。一致しない場合は、上位レジストリか下位レジストリに送信する。

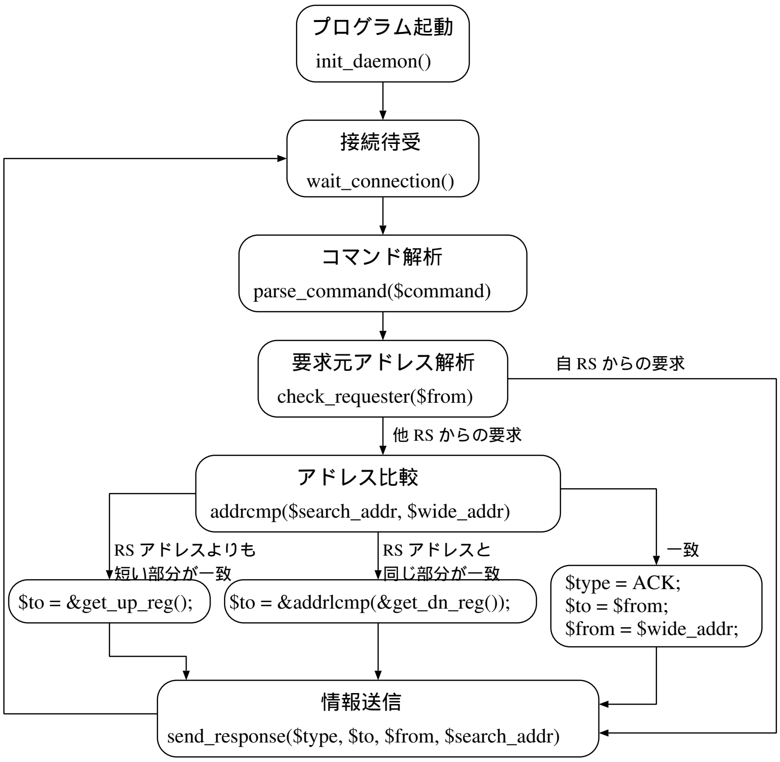


図 7.11: RS 間通信プログラムの流れ

第8章.　評価

本章では、MARS と WIDE 6bone Regiistry の評価を行う。

第1節.　レジストリシステムの評価

まずはじめに、MARS と WIDE 6bone Registry のレジストリシステム (RS) としての評価を行う。

本節では、本システムと既存の RS、6bone Registry との性能の比較を行う。評価項目は、次の 5 つである。

はじめに RS は、第 2 章で述べたように IP アドレスの割り当て情報や管理者情報の管理を行うシステムである。そのため、これらレジストリデータの管理を行えなければならない。次に、IP アドレスはインターネット上で一意なため、インターネット接続組織全てに対応できるだけの規模性がなければならない。また、規模性を実現するために RS を分散させた場合、それらの RS が協調していなくてはいけない。そして、RS は登録されている情報の公開を行うが、それらの中には管理者情報など悪用される可能性のある情報も多い。そのため、安全な情報公開を行える機能を持たなければならない。最後に、RS に登録されている内容は現状に即していることが望ましい。

評価項目	本システム	既存の RS + whois	6bone Registry
レジストリデータの管理	○	○	○
規模性	○	△	×
システム間協調	○	△	−
安全な情報公開	○	×	×
レジストリデータの即時性	○	△	△

図 8.1: 既存のレジストリシステムと本システムの比較

これらの項目についての比較を行い、その結果を表 8.1 に記した。

レジストリデータの管理については、比較した全ての RS が行っている。

インターネットに接続する組織の情報を扱うだけの規模性を持つかについては次のように評価した。MARS では RS を IR ごとに分散させることによって規模性を保っている。MARS の分散

方式では、ネットワークが拡大するに伴い新しいRSが設置されるため、将来のインターネット接続組織の増加にも十分対応できる。現状のRSは、複数のRSで管理する組織を分担することにより、一つのRSにかかる負荷を軽減している。しかしRSの数は限られており、新しく設置するには大きな労力が必要である。そのため接続組織の爆発的な増加には対応できない。6bone Registryは、1箇所で全ての情報を集中管理しているため、接続組織の増加に対応できない。

システム間の協調については、MARSではRS間通信プロトコルを用いてシステム間の通信を実現している。現状のRSでは共通のインターフェイスであるwhoisを用いて、一つのクライアントで全てのレジストリサーバへ情報要求を行うことを可能としているが、それ以外の点では協調していない。6bone Registryは、レジストリシステムの分散を行っていないため、比較の対象外とした。

安全な情報公開については情報公開時の認証の有無の比較を行った。本システムでは情報公開時に各セキュリティごとにパスワード認証を行い、関係者以外に詳細な情報を公開していない。一方、他のシステムでは、情報公開時の認証を全く行っておらず、悪意を持った第三者が情報を見ることができる。

また、本システムでは情報の動的収集を行っているため、常に現状に即した情報がRSに登録されている。しかし他のシステムでは、情報の即時性は各組織の更新者に依存しているため、本システムより劣っている。

これらの結果から、全てのシステムがRSとしての最低限の機能であるレジストリデータの管理は行えるが、その他の機能については本システムが優れていることがわかった。

第2節.　各部の評価

第2.1節　規模性の評価

管理するレジストリデータ量

TLAのアドレス空間は13bitである。アドレスの一階層にこれ以上のアドレス空間を用いると経路表の増加を招き、集約的アドレスの特性を生かせなくなる。そのため、MARSで分散させた

個々の RS が管理する範囲は最大で、アドレス空間にして 13bit、組織数にして 8192 組織と予想される。

しかし TLA は、複数の地域 IR が分担して管理している。また 6bone JP でのアドレス割り当て実験を通して、NLA アドレスの一階層には 8bit から 12bit の空間を利用するのが適していることがわかった。したがって、通常一つの RS には 256 組織から 4096 組織の組織情報が登録されていると考えられる。この数は、本システムのデータベース部で使用している PostgreSQL で十分対応できる数である。

情報の検索

通常、一つの RS が管理すると予想される組織数は約 4000 組織である。そのため、WIDE 6bone Registry に 4000 組織分のデータを入力し、キーワードからの情報検索を 200 回行った。この際、該当する情報が登録されている検索条件での検索を 100 回行い、該当する情報のない検索条件での検索を 100 回行った。その結果を図 8.2 に示す。

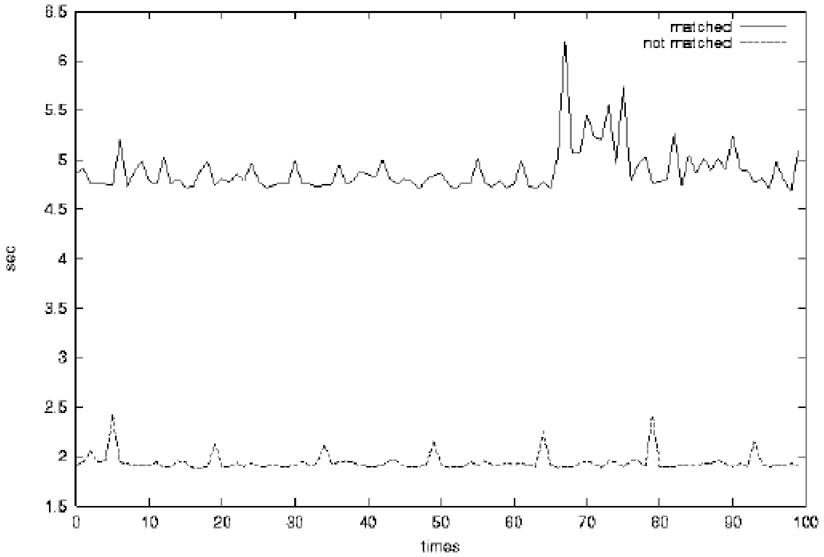


図 8.2: WIDE 6bone Registry における情報検索に要する時間

表 8.1 から、WIDE 6bone Registry での検索には平均 3.41 秒の時間を要することがわかった。whois でも同様の実験を行い、検索には平均 9.02 秒の時間を要することがわかった。

表 8.1: 検索に要する時間の比較

	本システム		whois	
平均	3.41 秒		9.02 秒	
検索条件	該当	非該当	該当	非該当
平均	4.89 秒	1.94 秒	3.79 秒	14.25 秒
最短	4.68 秒	1.89 秒	2.22 秒	13.00 秒
最長	6.20 秒	2.42 秒	11.52 秒	22.11 秒

whois では、検索条件に該当する情報が登録されている場合は、検索にかかる時間が本システムよりも短い。しかし、その時間にはばらつきが大きい。また、該当する情報がない場合は、平均 14.25 秒とかなりの時間を要する。

これらの結果から、WIDE 6bone Redgistry は、検索条件に左右されずに平均して早い検索速度を保っていることがわかる。

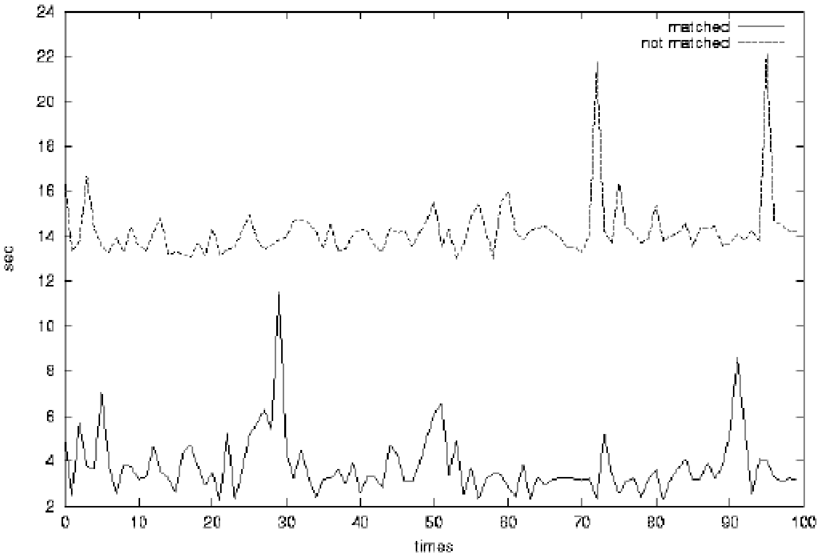


図 8.3: whois における情報検索に要する時間

第 2.2 節　分散モデルの評価

本研究の目的として、IPv6 のアドレス構造に対応した分散モデルの提案を行うことをあげた。分散モデルの評価は、インターネット接続組織の増加に対応できるかと、IPv6 ネットワーク環境に対応しているかの 2 点について行った。

MARS では、IPv6 アドレスの割り振りを行う組織単位で分散モデル構築を行った。

インターネット接続組織の増加への対応

IPv6 アドレスの階層構造において、1 つの組織が割り降るアドレス空間は、最大でも 13bit、組織数にして約 8000 組織である。したがって、MARS における個々の RS が管理すべきレジストリデータは最大でも約 8000 組織分の情報となる。またネットワークが拡大していくということは。IPv6 アドレスの階層が深くなることを意味している。そのため MARS の分散モデルでは、拡大したネットワークの部分には新しい RS が設置される。そのためインターネット接続組織が爆発的に増加しても、MARS では対応可能である。

IPv6 ネットワーク環境への対応

MARS では IPv6 のアドレスレベルである TLA ・NLA ごとにレジストリシステムが設置される。したがって、IPv6 アドレスの階層構造とレジストリシステムの階層構造が一致しており、IPv6 アドレス構造に対応した分散モデルを実現できている。

関連研究で挙げた RWhois もシステムの分散を行っている。RWhois ではレジストリデータをある基準で分類・整理して、その分類をもとにシステムの分散を行う。ドメイン名を例にあげると、ドメイン名の階層構造を利用して情報の分散を行う。しかし全てのレジストリデータがなんらかの基準できれいに分類できるとは考えにくい。また、現在地域ごとに分散されているレジストリデータをまったく違う基準で分散するため、現状のシステムからの移行が困難である。また、RWhois は IPv4 ネットワーク環境を前提として設計されている。

これらのことから、MARS の分散モデルは優れていると評価できる。

第 2.3 節 利用者にとっての使いやすさの評価

表 8.2: 利用者にとっての使いやすさの比較

	本システム	既存の RS + whois	6bone Registry
キーワードからの検索	可能	一部可能	一部可能
頻繁な更新	不必要	必要	必要
公開時の認証	あり	なし	なし
目的に応じた表示形態	可	不可	不可

検索機能

利用者の立場から見た場合、RS にとって一番重要な事項は検索の便利さである。

WIDE 6bone Registry では、ユーザーインターフェイスに WWW ブラウザを使用し、PostgreSQL + PHP/FI で実装を行った。PosgreSQL + PHP/FI を用いて作成したデータベース内の情報検索では、データベースに登録されている全ての情報がキーワードとなる。そのため既存のレジストリシステムと比較して、WIDE 6bone Registry は検索機能が充実している。

更新の負担

WIDE 6bone Registry では、動的情報の自動収集を行っているため、動的に変化するネットワーク情報の頻繁な更新が不必要である。他のシステムでは、更新者が手動で頻繁に更新を行わなければならず、更新者の負担が高い。

公開時の認証

WIDE 6bone Registry では、情報公開時にパスワード認証を行っており、閲覧者の負担が高くなっている。他のシステムでは、情報公開時の認証は行っていない。しかし、この認証により、悪意を持つ第三者への情報公開を防ぎ、情報公開の安全性を保っている。

目的に応じた表示形態

WIDE 6bone Registry ではクライアントに WWW ブラウザを用いているため、情報を表にして示すことができる。また表に示される情報のうち、必要ない項目を消すことも可能である。他

のシステムでは、決まった表示形態で情報を示す機能はあるが、閲覧者の要求に応じた表示形態での表示は行っていない。また WIDE 6bone Registry では、広域ネットワーク管理支援機能として動的収集したデータをもとにネットワーク構成自動図示を行う。このうち、自動で行っているのは組織間の線を現状通りに引くことである。

第 2.4 節　認証機能の評価

WIDE 6bone Registry は、更新時に正当な更新であるかどうかの認証を行う。6bone Registry も、WIDE 6bone Registry と同様に更新時に認証を行う。6bone Registry と WIDE 6bone Registry の更新者認証機能の比較を表 8.3 に示した。

表 8.3: 更新時認証の機能の比較

	WIDE 6bone Registry	6bone Registry
認証方法	PGP 署名メール	メールの From 行
更新者の負担	高い	低い
なりすまし	不可能	可能
更新者環境への依存性	非依存	依存

WIDE 6bone Registry は、PGP 電子署名を用いて認証を行っている。6bone Regsistry の認証は、メールの From 行を使用している。6bone Registry のメールの From 行を用いる方式は、特別な準備やソフトウェアが必要ないため誰でも簡単に更新を行える。一方、PGP 電子署名を用いる WIDE 6bone Registry の方式は、更新者に負担を強いていると言える。

しかし、更新者のなりすましや更新者環境への依存性では WIDE 6bone Registry の方式の方が信頼性が他かい。

6bone Registry では、メールの From 行を書き換えるだけで誰にでも更新者へのなりすましが簡単である。WIDE 6bone Registry では、認証に PGP 電子署名を使用しているため、偽造は不可能である。

また 6bone Registry では、正当な更新者であっても、登録時に使用したメールアドレス以外のメールアドレスから更新を行おうとすると拒否される。WIDE 6bone Registry は、PGP 電子署名を用いるため更新者の環境への依存性が低い。

以上より、WIDE 6bone Registry の認証方法は、更新者の負担は高いが、更新の認証方法としては優れていることがわかった。

第 2.5 節 広域ネットワーク管理支援機能の評価

WIDE 6bone Registry では広域ネットワーク管理支援機能として、様々な表示形態によるレジストリデータ公開とネットワーク構成自動図示を行っている。WIDE 6bone Registry では、表示したい組織とレジストリ項目を要求することによって、要求に応じたレジストリデータの表を生成する。これによって閲覧者の要求に応じた表示を可能にしている。また、動的収集した情報をもとにネットワーク構成図を自動図示している。

これらの情報の提供によって、広域ネットワーク管理支援を行っている。

他の RS では表示形態はシステム側で決まっており、閲覧者が求める情報のみを表示することはできない。そのため、求める情報のみを表示できる WIDE 6bone Registry の方が、ネットワーク管理者にとってわかりやすい情報提供を実現している。また他の RS では、ネットワーク構成の図示は行っていない。

既存のネットワーク管理支援システムと比較すると、WIDE 6bone Registry で提供するネットワーク構成図は既存のネットワーク管理支援システムの提供する図よりも劣っている。そのため、この機能に関しては、今後の課題とする。

第 9 章.　結論

第 1 節.　まとめ

本研究では、現状のレジストリシステムに生じている問題点と広域ネットワーク管理支援の必要性を踏まえ、次にあげる課題の解決を行い、次世代ネットワーク環境におけるレジストリシステムを実現した。

- レジストリシステムの規模性
- 分散されたレジストリシステム間の協調
- 安全な情報公開
- 広域ネットワーク管理支援の実現

はじめにシステムの規模性とその協調を実現するために、MARS の設計を行った。MARS において、IPv6 アドレス構造を生かした分散モデルを提案し、複数のレジストリシステムにまたがる検索を実現した。

そして次に、MARS を構成するプロトタイプとして WIDE 6bone Registry の設計と実装を行い、6bone JP と WIDE Project のネットワークにおいて運用を行った。WIDE 6bone Registry では、アドレスとネットワークトポロジの関係に着目し、レジストリシステムにおける広域ネットワーク管理支援を実現した。また、情報の項目にセキュリティレベルを設定し、安全な情報公開を実現した。

WIDE 6bone Registry の実装により、次世代インターネットプロトコルへの移行が進み、インターネットに対応するレジストリシステムを構築することができた。

第2節.　今後の課題

今後の課題としては、次にあげる項目の強化が挙げられる。

- SNMP/MIBの利用
- 複数のレジストリシステム間の検索
- 広域ネットワーク管理支援

WIDE 6bone Registryの動的収集部では、各組織のルータにクライアントを置く。現在、IPv6ネットワークではPCルータが主流となっているが、近い将来、このようなクライアントを置くことのできない専用ルータが出現することが予想される。そのためクライアントは、将来SNMPを利用したものへ移行する予定である。

本研究では、複数のレジストリシステム間の検索ではシステムのポインタのみを示す。しかし、レジストリシステムAのデータをレジストリシステムBから閲覧することが可能であれば、さらに使いやすいシステムとなる。本研究では、規模性の問題からシステムのポインタだけに絞ったが、このような仕組みの開発が今後の課題としてあげられる。

また本研究では、広域ネットワーク管理支援を行うために、動的に変化する情報をレジストリシステムが収集し、それらの情報の整形・図示を行っている。これを発展させ、障害の告知などさらなる広域ネットワーク管理支援を行うことが今後の課題である。

謝辞

本論文を進めるに当たって御指導を頂いた、慶應義塾大学環境情報学部教授の村井 純博士に感謝します。

　また、研究に関する多くの助言を頂きました、東京大学大型計算機センター助手の加藤 朗修士、IIJ研究所の山本和彦修士に感謝します。そして本研究の運用の場を与えてくれ、様々な助言を頂いたWIDEプロジェクトのIPng WGのみなさま、ならびに6bone JPのみなさまに感謝します。

　また、本研究の設計・実装・運用に渡って多大な支援をして頂いた慶應義塾大学徳田・村井・楠本・中村研究会のSFC-IPng WGのみなさまに感謝します。

　最後に、効率的な作業環境を与えてくれた

　と、すさんだ心をなごませてくれた今日の占いと本日の小ネタ、雑用をニートにこなしてくれたkwktくん、saikawaくん、現実逃避させてくれた友人たち、そして小人さんに感謝します。

参考文献

[1] K. Hubbard, M. Kosters, C. Conrad, D. Karrenberg, and J. Postel. INTERNET REGISTRY IP ALLOCATION GUIDLINES. RFC 2050, November 1996.

[2] K. Egevang and P. Francis. The IP Network Address Translator(NAT). RFC1631, May 1994.

[3] V. Fuller, T. Li, J. Yu, and K. Varadhan. Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy. RFC 1519, September 1993.

[4] R. Hinden. Proposed TLA and NLA Assignment Rules. RFC2450, December 1998.

[5] J. Case, M. Fedor, M. Schoffstall, and J. Davin. A Simple Network Management Protocol(SNMP). RFC1157, May 1990.

[6] K. McCloghrie and M. Rose. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II. RFC1213, March 1991.

[7] R. Hindenand, M. O'dell, and S. Deering. An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format. RFC 2374, July 1998.

[8] Open Design No.10 「ネットワーク管理技術のすべて」. CQ 出版社.

[9] S. Williamson, M. Kosters, J. Singh, and K. Zeilstra. Referral Whois(RWhois) Protocol V1.5. RFC 2167, June 1997.

[10] D. Atkins, W. Stallings, and P. Zimmermann. PGP Message Exchange Formats. RFC1991, August 1996.

[11] M. Elkins. MIME Security with Pretty Good Privacy(PGP). RFC2015, October 1996.

[12] C.J.Date. A Guide to THE SQL STANDARD, 2nd edition. Addison-Wesley, 1997.

[13] 石井 達夫. PC UNIX ユーザのための PostgreSQL 完全攻略ガイド. 技術評論社, January 1999.

[14] トップマネージメントサービス. Linux/FreeBSD による SQL データベース構築入門 PostgreSQL+PHP/FI 編. 主婦の友社, August 1998.

付録

IPv6 アドレス表記法

IPv4 のアドレスは，32bit のアドレスを 8bit ごとに区切り，それぞれを 10 進数で表したものを “.”(ピリオド) で繋げて表記する．例えば，**“133.27.193.1”** は， 次の 32bit のビットパターンを表記したことになる．

10000110 00011011 10111000 00000001

IPv6 のアドレスは，128bit のアドレスを 16bit ごとに区切り，それぞれを 16 進数で表したものを “:”(コロン) で繋げて表記する．例えば，**“3ffe:501:100c:5310:2a0:24ff:fe48:7a3c”** は，次の 128bit のビットパターンになる．

0011111111111110 0000010100000001 0001000000001101 0101001100010000
0000001010110000 0010010011111111 1111111001001000 0111101100111101

また，一般的にアドレス表記が長くなりがちなので，省略表記が用意されている．中間にある **0** の列を省略できるという規則になっている．例をあげると

3ffe:501:100c:0:0:0:0:1

というアドレスは，

3ffe:501:100c::1

と表記することが可能である．中間の **0** を省略する記号として，コロン 2 つを重ねておくという規則になっている．