

# あらためてIPアドレス枯渇の現実とその対策 IPv6の本格普及について

NTTコミュニケーションズ株式会社

イノベーションセンター

シニア・テクノロジー・アーキテクト／エバンジェリスト

ビジネスソリューション事業本部 第二ビジネスソリューション部

担当部長

博士（工学） 宮川 晋

[shin.miyakawa@ntt.com](mailto:shin.miyakawa@ntt.com)

2021年6月

## ■ 宮川 晋 (みやかわ しん)

- ✓ NTTコミュニケーションズ株式会社
  - ✓ イノベーションセンター シニア・テクノロジー・アーキテクト (本務) / 第二ビジネスソリューション部 担当部長 (兼務)
- 来歴と主な所属
  - ✓ 平成7年 東京工業大学 博士 (工学) 学位取得 同年にNTT入社
  - ✓ NTTソフトウェア研究所、NTT MCL (シリコンバレー)、NTTコミュニケーションズ 技術開発部
  - ✓ 慶應義塾大学SFC研究所上席研究員(客員)
- 主な研究関係の業績
  - ✓ IETF RFC6888, 3769, 4241, 4925 IPv6 Prefix Delegation、Carrier Grade NATなど
  - ✓ BSDを256倍つかうための本 (アスキー出版局)
  - ✓ はやわかりPCUNIX (共立出版)

## ■ 西麻布のバーでNTT Comの宮川エバに聞いたテッキーなお話

- <https://ascii.jp/elem/000/000/988/988432/>

# Google IPv6 Conference 2008

- <https://www.youtube.com/watch?v=mZo69JQoLb8>
- Google IPv6 Conference 2008: What will the IPv6 Internet look like?



<https://ja.wikipedia.org/wiki/ヴィントン・サーフ>

**ヴィントン・グレイ・サーフ**（**Vinton Gray Cerf**<sup>[1]</sup>, [1943年6月23日](#) - ）は**アメリカ合衆国**の**計算機科学者**であり、**ロバート・カーン**と共に<sup>[4][5]</sup>**インターネット**と**TCP/IP****プロトコル**の創生に重要な役割を演じた「**インターネットの父**」の1人<sup>[6][7]</sup>。その功績により、**アメリカ国家技術賞**<sup>[1]</sup>、**チューリング賞**<sup>[8]</sup>、**大統領自由勲章**<sup>[9]</sup>を受賞（受章）し、**全米技術アカデミー**会員にも選ばれている。通称は**ヴィント・サーフ**（**Vint Cerf**）。

## • Mobile World Congress 2018

- McLaren's Keynote at MWC 2018 with Dr. Shin Miyakawa from NTT Communications on 27<sup>th</sup> Feb 2018 at Barcelona Spain
- <https://www.mobileworldlive.com/on-stage/mwc/keynote-mclaren-formula-1-driver-fernando-alonso-and-zak-brown/>



<https://ja.wikipedia.org/wiki/フェルナンド・アロンソ>

**フェルナンド・アロンソ・ディアス** (**Fernando Alonso Díaz**, [1981年7月29日](#) -) は、[スペイン](#)・[アストゥリ](#)  
[アス州オビエド](#)出身の[レーシングドライバー](#)である。[2005年](#)に、当時のF1史上最年少[ドライバーズチャン](#)  
[ピオン](#)記録を樹立し、翌[2006年](#)には連覇を達成した。また2018年にはF1と並行して[ル・マン24時間](#)にも参  
戦し、総合優勝を収めた。2019年に[ル・マン24時間](#)を連覇し、2018/2019シーズンの[FIA世界耐久選手権](#)  
LMPドライバーチャンピオンを獲得した。

# IPv6と私

- 学生時代にJUS（日本UNIXユーザ会）やWIDE Projectに関係するようになってインターネットに出会い、そのあとNTTの研究所に入社。
- 当時のソフトウェア研究所広域コンピューティング研究部に配属。所長は細谷さん（マルチフィード相談役）で、部長は後藤先生（早稲田大学名誉教授でJPNIC理事長でKDDI社外取締役）でした。
- 入社して2年たったところでシリコンバレーに設立されたNTT Multimedia Communication Labに転勤。そこで私のリサーチアドバイザーとしてDr. Steve Deeringと出会い、公式、非公式にいろいろと教えをいただきました
- ずっとあとになり、Carrier Grade NATの標準化などにもかかわりました。いまはIETFの標準化ドラフト提案をしていないこともありMLには入ってますが、会合からは遠ざかっております

# スティーブ・ディアリング - Wikipedia より

- **スティーブン・ディアリング**(Stephen Deering)は、[カナダ](#)出身の[計算機科学者](#)である。[シスコシステムズ](#)の元研究員で、[Internet Protocol](#)(IP)のアーキテクチャ拡張の開発と標準化に取り組んでいる。

(途中略)

- 彼は[インターネットアーキテクチャ委員会](#)(IAB)の元会員であり、[Internet Engineering Task Force](#)(IETF)の多くの[ワーキンググループ](#)の元議長である。[IPマルチキャスト](#)の発明者であり、新しいバージョンのInternet Protocolである[IPv6](#)の設計を主導している。

- <http://www.nttv6.jp/~miyakawa>
- <http://www.nttv6.jp/~miyakawa/index6.html>

というわけで、今日は貴重な機会をいただき、  
まことにありがとうございます

## 「あらためてIPアドレス枯渇の現実とその対策 IPv6の本格普及について

と題して、IPv4アドレス枯渇が結局どうなっているのか、またv6はどうなっているのか、どうしたいのか、をお話してみたいと思います

# 2007年くらいからCGNの議論

- v4枯渴が話題になり始めたころに、HTMLの専門家との議論も含めてCGNのアイデアが語られ始めてきた
- JPOPMも大きな役割をはたしていると自負している
- シリコンバレーの連中とも直接議論を重ね、日本チームがIETFでも議論をリード
- CGNはいやだけど必要。どうせいれなきゃいけないならせめてアプリが通過しやすいように口当たりをよくしてっていう感じの雰囲気

# 現在のIPv6の普及具合

- IPv6 がつかえるFTTHや携帯電話はかなりの高普及率（すばらしい。。もう普及しまくったといってもいいくらい）
- ISPが運んでいるパケットの量でもv6がv4を追い越そうという勢い（詳細はConfidentialなのでだせません）
  - GAFAのサービスやCDNでの普及が進み、動画がv6で運ばれるので「量」がすごいということでもいいんだとおもいます
- 一方でそれら「以外」のところでのサービス側の普及はかなりダメっぽい
- IoT機器へのv6搭載も勢いを失い、後退している印象

# v6が扱えずらい？

ですよ

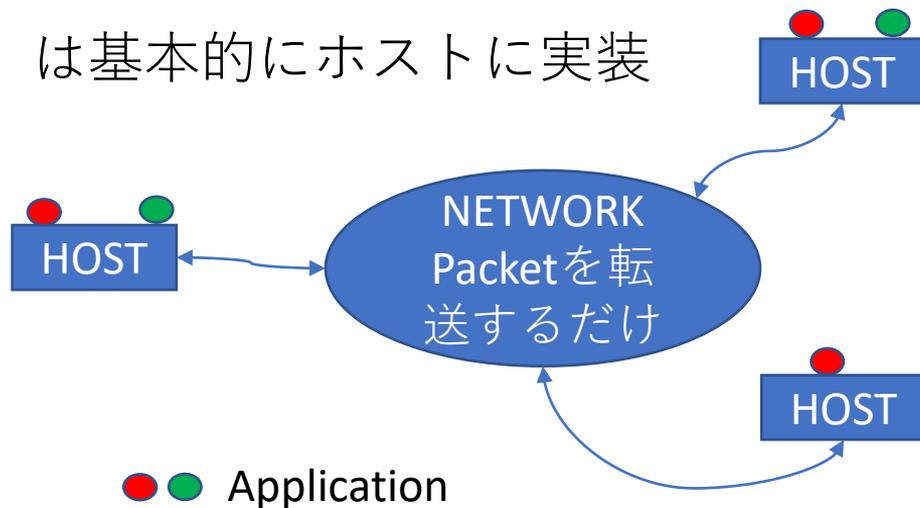
- **いまどきはやりの仮想環境ってv6には冷たい**ですよ。正直。後回しな印象。
  - K8SとかNAPTつかったりしますし。
- あちこちで**v4 ONLY**になってるか、もう**IPv6 NAPT**で解決。
- オンプレミスで作ったシステムではなく、今どき流行りの仮想環境で作ると**v6**が抜け落ちたりします
- **100円単位で部品を削りたいIoT機器だとv6の搭載分だけ余計にコストかかるのが嫌なのが正直なところ**
- しかも、**IoT機器はそもそも脆弱になってしまうことも多いし、グローバルリーチャビリティ必要ない場合も多い**ですよ
  - 例えばプリンター。世界中から直接アクセスできる必要ないですよ。普通
  - 余談ですが、IoTのゼロトラストって、ほんとにできるの??って疑ってます

# IPv4 アドレス枯渇具合

- 統計情報をここで再掲するのはやめにしておきます
- 割と最近、村井先生が持っていた/8がAPNICとの財団設立のためにつかわれましたが。。まあ、だからどうなの？っていうくらいの量でしかないですよ（とはいえ、財団規模としてはかなりでかいけれど）
- CGNがない携帯電話IPv4サービスはいよいよ珍しい存在へ

# インターネットの「もともと」

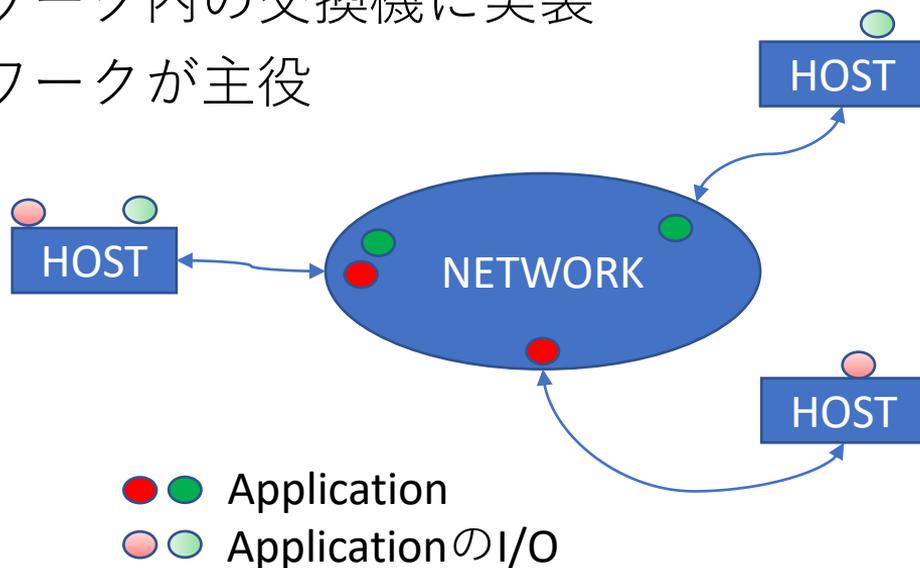
- ネットワークはパケットをフォワードするだけでインテリジェンスを持たせない
- インテリジェンス（アプリ）は基本的にホストに実装
- あくまでもホストが主役



# 比較対象としての「電話網」

—長い歴史を持つPSTNはもうすぐなくなります—but

- 端末（ホスト）は入出力だけを担当
- アプリケーションはネットワーク内の交換機に実装
- 通信品質もふくめてネットワークが主役



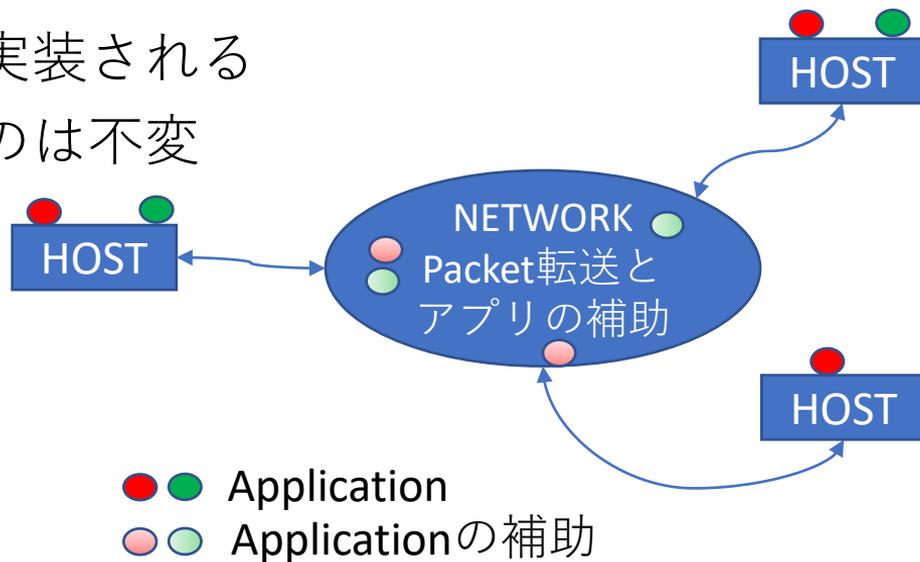
# インターネットの「勝因」

- 新しいアプリケーションを創出するときに、世の中の二つのホストにだけ実装できればとりあえず動き出す
  - コストがものすごく小さい
- 「通信に対する課金」の概念を無視することによりいろいろなことをサボってしまえる
  - 仮に「発信者がパケット代を負担する」って決めるとWebページのサーバーなんかやられてられないし。逆にしたならメール受け取れないし。
  - 実は、一方で現在、これが厄介な問題を引き起こしております（後述）
- 一方で、電話網に新しいアプリケーションを実装しようとする、とてつもなく大変
  - なので、現実的に電話網には、いわゆる「電話」と「FAX」（ま、あと「SMS」）しかアプリケーションがない



# インターネットの「実際」

- ネットワークはパケットをフォワードするだけでなく、アプリが動くためのインテリジェンスなどが入ってる
- 引き続きアプリはホストに実装される
- あくまでもホストが主役なのは不変



# インターネットの「やばいところ」

- 「悪いやつ」がのさばるのが割と簡単
  - 課金がないので悪性の通信を大量にばらまいてもチャージが痛くない
  - 誰が何してるのかよくわからない
- 幻想としてのEnd-To-End Transparentをまもっていればとりあえず動くってことで目をつぶったシステムがたくさん存在
  - Google のDNS 8.8.8.8 なんて一つのコンピューターであるはずもないけれど、そう見えるわけですね。例えば。
  - ロードバランサーってE2E透過じゃないですよ。
  - NAPTも、一つのネットワークを一つのホストに見せかける技術



# インターネットにおけるネットワークの機能

- しかし、インターネットは**1995**年くらいの商用実用化のころから、既に実は本質的に変化してきている
- NAT (NAPT)、ロードバランサー、ファイアウォール、コンテンツキャッシュ、認証、**Anti-DDoS**などなどなどなど
- ネットワーク側に「機能」がどんどんはいつてきている



# v6が目指し {た | てる} もの

- IPアドレスの枯渇対処、だけでなく、もっと幅広く原理主義的なインターネットの復活を目指したいんだとおもいます
  - 2020年12月1日付のIETFのメーリングリストでもNATは良くない！って（ロレンツィオさんが）論陣を張っています。
- とにかくNAPTの否定が有名。。。だが、それはいまだに困難だし、宮川はNAPTはだめでもNAT66は必須なんじゃないか派です。
  - 私、その後、CGNをやったこともあり、師匠（Steveのことです）からは直接「暗黒面に墮ちやがって！」っていわれました



Steveはいろいろと面白いことを言っていました。。実際には商業的にはどうなの？っていうことも目指してた。

- **Geographical Addressing** とか。知らないでしょ皆さん。
- インターネットとは本来自宅のまへの道のようなもので、地方自治体を作って運用し、誰でも無料で通行できるようにして。有料高速道路のように特別な機能が必要な人は、それにだけお金を払えるようにするといいのだとも。
- マルチホームホストにもこだわってましたね。でもBCP38 (Network Ingress Filtering) との相性が悪すぎる
- ファイアウォールにさえ基本的には反対。「それじゃそれぞれのホストに全インターネットからの攻撃の防護機能がなきゃだめじゃないか」といったら「そうしろっていってるんだ」って言ったことがあります。まじか。。



# v6の勇み足じゃないかな。。。とおもえる点

- 目的をIPアドレスの枯渇対策、だけ、に絞っていたらひょっとしたらもっと早く広まったかも...とは言わない約束だとしても
- ヘッダをいくつでも複数個つけられるアーキテクチャは、IPをソフトウェアで処理するならなるほどと思いますが、ハードウェアフォーワーディング処理には相性が悪い
- ヘッダの最大個数を実用的に抑えるべき（だし、運用上は抑えられてる）
- SLAACや複数のアドレスをつけることができるアーキテクチャも、セキュリティ界隈からは困った扱いになりかねない
- などなどなどなど

# PATH MTU Discovery 　　って要る？

- IPv6 では、リンクバイリンクのフラグメンテーションが禁止されていて、PATH MTU Discoveryが規定。また最小MTU（1280B）が存在します
- ネットワークの途中でICMPがフィルタされるなんてことは想定外だった。。。
  - しかし、Tracerouteをつかった経路推定などでセキュリティ上のリスクとみなされてICMPをフィルタしてしまうISPが数多く出現
  - IPv6 でもICMPをフィルタするISPがあることから上手くいかない
- べつにリンクバイリンクフラグメント許せばよかったのに…

# 実際にはびこるv6のNAT (NAT66 あるいはNAPT) の例

- VMWARE Workstation あるいはVMWARE Fusion のハイパーバイザの IPv6 サポート
- OracleのVM Virtual BoxのIPv6サポート
- これ両方ともNATのモードがあります。Hyper Visorはだいたい全部そう。
  - だって、ホストのマシンがオフラインのときにVMにアドレス付かないじゃないですか。そうしないと。
- K8S もです。IP masquerading のモードがあります
- ロードバランサーもNATですよ
- 他にもありそう

# NAPTがあるならuPnP。v6の場合は？

- v4もふくめてPCP (Port Control Protocol) が推奨です
  - が、流行ってますかね。。。
  - そもそもuPnP (の特にIGDコントロール) もセキュリティ上の課題から非推奨になりつつあります
- しかしEnd-to-End アプリケーションって辛い立場ですよ。そうなる。

# なかなか使いこなすのがむつかしいv6

- IPv4 で発展したオペレーションの知見、経験が活かせてない
  - v6を作っているときにv4の世界がどんどん変わっていったからだと思います
- 仮想化界隈もIPv6 のことをよく知らないように見える。。
- IoTはどうするんだよ。。
  - IPv4の/8の空間 すなわち1600万個以上をあつかうIoTなら勝機があるのではないかとまじめに思います
  - 具体的にはMaaS (Mobile As A Service)

# NGN/フレッツ閉域網の功罪

- NGN/フレッツが、閉域のIPv6 ネットワークを、グローバルユニークアドレスで運用する場合があること自体はもっと検証されてもよいはず
  - もしNGN/フレッツの閉域網がグローバルユニークなアドレススペースをつかっていなければ、アドレス選択問題はもう少し簡単だった
  - が、まあ、Happy Eye Ballsを使わなければならないのはかわらないので、そこは今は相対的には大したことなくなってるともいえる
- 一方で、NGN/フレッツがいちはやくIPv6 ネットワークを全国に広めたので、たとえば「ひかりTV」など、数多くのIPv6 ユーザーが、それと知られることなく存在しているのも事実

# IPv6 を最初から設計にいれてないシステムが がととても多いのは困る

- とりあえずv4だけでつくって後からv6対応すればいい、とおもってるでしょ。。。
- アドレスの表記やデータの持ち方、また各種の取り扱いなど、v4しか考えていないといまいちになっちゃうんだけど

# これからのIPv6

- SR6 (Segment Routing) のようにIPv6 を「縁の下」に使う好例が増えてきた
- IPv4 as a service もその一例
- IPv4 アドレスが真に枯渇するまでにはもう少しだけかかる感じ
  - 村井先生がClass Aを放出するとはねえ。。。いいんですけど
- なし崩し的にIPv6 もIPv4 と同じようなプロトコルになりつつあり、それで実用化が進んでいるとおもえてしまう。それでいいですよねえ。。。
- きっとうまくいきますし、普通のプロトコルにいつの間になくなっていくと思います
- IPv6 の標準化界隈がもう少しオペレーターに寄っててもいいんじゃないかとはおもいつつ。。
- 私の及ばなかったところですので誰かバリバリやってきてください

# 「ギガ」とE2E透過の相性が悪い

- End to End Transparency といわゆる「ギガ」などの従量課金の通信サービスの相性が悪すぎる
- DoSられてもギガを食ってしまう
  - CGNがはいてればそんなことないのに！！！！
- フレッツでも起きる。
- IPv6 でもISP 側にステートフルファイアウォールをいれろ！？
  - っとなっちゃうよね

# そして未来へ

- Steveの言っていた**理想のインターネットに戻れたらいいな**、と本当に思います。悪いことする人がいなくて他人のプライバシーもそれぞれが気を付けるような。。。
- でもそれは**なかなか難しい**未来。
- インターネットが実用の世界になればなるほど、実世界のように善人だけが居る世界ではなくなってきてしまった
  - そのためにはネットワークにもっと機能をいれなければならない（残念だけど）
  - ひょっとすると「課金」にも手をださなければならない（残念だけど）
- しかし**我々はきつとうまくやっています**。そう信じて引き続き楽しくて有用なインターネットを皆で作っていきましょう！

ご清聴ありがとうございました