

新世代ネットワークの研究に寄せる期待

NICT 新ビジョン発表会での基調講演

東京コンファレンスセンター品川

2011年11月9日

プリンストン大学電気工学科
シャーマン・フェアチャイルド名誉教授

NICT 特級研究員

小林 久志

当シンポジウムにお招き頂き、大変光栄に思います。宮原理事長、榎並理事、ならびにこの企画委員の皆様、厚く御礼申し上げます。当初6月に予定された当シンポジウムが、ここに本日開催の運びとなりましたこと、たいへん喜ばしいことと思います。

スライド 2: ここに示した概要に従ってお話したいと思います。

- I. 新世代ネットワークとは何か、そして何故か？
- II. 何がインターネットを成功に導いたか？
- III. エンド・ツー・エンド設計原理への終止符
- IV. ネットワークの仮想化
- V. AKARI アーキテクチャと JGN-X
- VI. FIA とテストベッド、米国諸外国での活動状況
- VII. これからの戦略はどうあるべきか？
- VIII. ステイブ ジョブズ氏から何を学ぶべきか？

スライド 3:

- I. 新世代ネットワーク(NwGN)とは何か？

NwGN プロジェクトは日本におけるネットワーク研究のフラッグシップ的な存在であります。NwGN は現在のインターネットからの革新的な飛躍を目指すものであり、その目標は、2015年頃から実験的段階に

入る将来のインターネットの新しいアーキテクチャを設計(Design)し、Testbed 上で、実装(Implement)し、検証(Verify)することにあります。

スライド 4: 何故 **NwGN** か？

現在のインターネットは、これまで常に新しいアプリケーションと、絶え間なく増え続ける新しいユーザーをサポートすべく、絶ゆまづ、変化変革を遂げることに成功して来ました。そして今や、新しい端末機器の大半が、スマート・フォン、ラップトップ、センサー等のモバイル端末であります [1]。

1988年に米国で商用インターネットが始まって以来、この20年余りの間の、インターネットの普及とアプリケーションの進化・拡大のスピードは、人類の文明史上比類なきものであります。しかし40年前のインターネットの設計者は、端末は固定しており、また全てのユーザーは信頼できることを想定していました。

爆発的に増加しているネットワーク上のトラフィック、益々巧妙化するサイバー・アタックに対するセキュリティの難しさ、端末機器の大半が、スマート・フォン、ラップトップ、センサー等のモバイル端末になりつつあることを考慮すると、現存のインターネットの **Extension** である **NGN (Next Generation Network)** (は現在のインターネットを基盤とし、(1)電話、(2)インターネット、(3)テレビジョンの三つのサービスを提供するものであり、世界標準はすでに出来上がり、実用段階に入ったものであります。)では、近々その限界の壁に当たることは明らかであります。NwGNは未来の社会のニーズに応えるための **Revolutionary Change** を目指すものであります。AKARI はそのようなネットワークのアーキテクチャ、JGN-X はそれをインplementし検証するためのテストベッドであります。

スライド 5-6: **NwGN** の要求事項

将来のネットワーク・サービスに関しては、多くの要求事項を考慮する必要があります。以下は、私が考える新世代ネットワークへの要求事項です。

1. **スケーラビリティ**、即ち**拡張性**(ユーザー、物、データ、トラフィック等に対して。)将来ネットワークに接続される物の数は数兆(**several trillions**)になるという報告もありますが、モノの数が増えても交換メッセージが爆発的に増加しないような仕組みを作る必要があります。
2. **異種混合と多様性**
3. **信頼性と弾力性** (災害克服のための情報通信技術という観点からは、この **Reliability** と **Resilience** が最も重要な課題であります。)
4. **セキュリティ**(安全保障)と**プライバシー**
5. **モビリティ**(移動性)の管理

6. 高性能
7. エネルギーと環境
8. 社会からの要請
9. 両立性(現在のインターネットとの)
10. 伸張性(予知しない、想定外の事象、応用への)

以下、原井研究員をリーダーとするグループが設計、実装している新しいアーキテクチャ **AKARI** と中尾教授が中心に開発している仮想ノード、下條教授とそのメンバーが新しいアーキテクチャ、プロトコル、および応用をテストする為の実験施設、テストベッド **JGN-X** について述べますが、その前に先ず「ネットワークの専門家以外の方の便宜のために「アーキテクチャ」と「プロトコル」等の用語の定義をはっきりさせ、何が現在のインターネットをこれ程まで成功させ、現在のインターネットの、どの特徴を維持し、どれを放棄すべきかにつれて簡単に触れたいと思います。

スライド 7: アーキテクチャとプロトコル

ネットワーク・アーキテクチャとはネットワークの論理的構造的な枠組みであり、ネットワークの構成要素とそれらの機能的構成や配置、ネットワークの操作上の原則や手続きを規定するものであります。アーキテクチャはネットワークの操作に使われるデータの形式も規定します。ネットワーク・アーキテクチャとそのインプリメンテーション(実装)の違いは、前者が、実装に使われる特有なテクノロジーに縛られないことにあります。アーキテクチャは、原則として、テクノロジーに依存すべきではありません。

アーキテクチャはプロトコルによって規定されます。国家間の外交で、「プロトコル」は国家間に関連するルール、手続き、慣習、儀式等を意味します。同様に、コンピュータ間の通信で、「プロトコル」は二つのコンピュータ(端末)間の通信を可能にする規則の集合を意味します。

スライド 8: 現在のインターネットのプロトコル

現在のインターネットのアーキテクチャは**インターネット・プロトコル(IP)**によって凡そ規定されています。IPとは、ネットワークの内部をパケットがどの様なルートを辿るかを記述した物であります。IPのみによって提供されるネットワーク・サービスは一對の端点(a pair of end points)間でのパケットの秩序正しい転送を提供出来ぬため、**無接続型(Connectionless)**サービスと言われます。**接続型(Connection-oriented)**サービスを提供するためにもう一つのプロトコル、転送制御プロトコル(TCP)が必要であり、1974年にサーフ氏とカーン氏が発表した論文に記述されています。TCPはIPの上で動作し、このTCP/IPプロトコル・スイート(TCP/IP suite)はインターネットの前身ARPANETに1983年に採用され、以来インターネットの基本プロトコルの役目を果たして来ました。TCP/IPの他にしばしば使われるプロトコルとして、ファイル転送プロトコル(FTP)とハイパー・テキスト転送プロトコル(HTTP)があります。HTTPはワールド・ワイド・ウェブの上で様々なファイル(テキスト、グラフィック画像、音、ビデオ、他のマルチメディア・ファイル)を転送する為のルールの集合であります。

スライド 9-10: 何がインターネットを成功に導いたか？

スライド 9と10に インターネットとその発展の主な出来事を年代順に記しています。時間の都合上詳細は省きますが、40年近くも前に導入されたTCP/IPプロトコルが依然として君臨しているのは、注目すべきことであります。World Wide Web が作られたのが20年前、その後物凄い勢いでインターネットの改良と応用が進んだことがこのスライドから分かると思います。インターネットをこの長期間、そして加速度的に成長させてきた要因は何でありましょうか？

スライド 11: Telephone Network Architecture

このスライドは従来の電話ネットワークを簡略化して描いたものであります。電話ネットワークにおいてはインテリジェンスの凡てが、ネットワーク中枢部分にあります。端末の電話受話器はインテリジェンスを持たぬダム端末(dumb terminal)であります。

スライド 12: TCP/IP based Internet

スライド12はTCP/IPを基盤とするインターネットを示します。TCP/IPの設計原則は、しばしば「エンド・ツー・エンド(E2E)設計」原理と呼ばれます[4]。大雑把に言えば、この原則に従うと、コア・ネットワークはダム(dumb)・ネットワーク(dumbとは「物を言わない」、「無口な」、「鈍い」の意)にすべきであり、ネットワークのend pointsが、如何なるアプリケーションをもサポートするために必要な機能・サービスを提供することになります。

このE2E設計原理の最も重要な点はアーキテクチャが完全にOpen(開放されたもの)であることです。ダム(dumb)・ネットワークは容易にアクセス出来、簡単に取り扱える利点があります。

スライド 13: IP のデータグラム・サービスとTCPの接続型サービス

インターネットはパケット通信の一方式です。メッセージは全てパケットに細分化され、それぞれのパケットには発信地と受信地のアドレスと通し番号が記されます。IPはこれらの複数のパケットを発信地から受信地まで独立に、即ちばらばらに、配達するという最も基礎的なサービスを提供します。これをデータグラム・サービスあるいはコネクションレス・サービスと言います。しかし、パケットは順不同で到着しますし、中には途中で失われたパケット、到着しても、誤りがあって役に立たぬパケットなどが混在しています。受信側に役立つメッセージを提供するには、途中で失われたり、誤りのあるパケットを再送信させ、通し番号順にパケットを揃えます。このようにして送信側の情報を受信側に役に立つ形で提供するサービスを接続型のサービス(Connection-oriented service)と言います。このエンド・ツー・エンドの接続をするプロトコルをTCP(Transmission Control Protocol)と言います。あたかも送信点と受信点が回線で接続されたかのように見えるので、TCPは仮想回線(Virtual circuit)を提供すると言います。

スライド 14: E2E 設計原理の結果

このスライドはエンド・ツー・エンド設計原理が生み出した様々なインターネット・アプリケーションがぶら下がった今日のインターネットを描いています。どのサービスもエンド・ツー・エンド アプリケーションであり、誰でも **dumb** な IP ネットワークの上で動くアプリケーションを容易に開発出来た結果を示しています。

電話ネットワークのように高度に中央集権化された制御構成を持つパケット通信ネットワークではエンド・ユーザーがアプリケーションを容易に作成することは出来ません。ネットワーク内部に立ち入る事が許されないからであります。インターネット・アーキテクチャの開放性にこそ、マルチ・メディア・サービス提供の競争において、ATM 高速パケット・スイッチングを使い、広帯域統合サービス・デジタル通信網 (B-ISDN) を開発しつつあった電気通信事業者のグループに打ち勝った理由があります。

II. エンド・ツー・エンド設計原理への終止符？

スライド 15: E2E 設計原理の問題点

しかし冒頭に掲げた未来ネットワーク・サービスに要求される 10 項目を見直しますと、E2E 設計手法では、これらの要求事項の多くに対応出来ないことが分かります。その理由は、E2E 設計はコア・ネットワークを本質的にリソースの使用効率を落とし(即ち、帯域幅のようなネットワークのリソースを無駄にし)転送スピードを低化させ(即ち、無線回線のように雑音の高い回線で誤りが起った場合不必要な再伝送に訴え)ネットワーク内部を攻撃から守れない **Insecure** ネットワークにします。

ですから、もはや E2E 設計原理に執着すべきではありません。時間の都合上、詳細への言及は出来ませんが、ご興味のある方は、2009 年 7 月ドイツのウルツブルグで開催された、ユーロ・ビュー・コンファレンス(Euro-View Conference)での私の基調講演「エンド・ツー・エンド設計原理への終止符」の論文及びスライドを参照下さい [5]。

III. ネットワークの仮想化

スライド 16: 仮想化技術とは？

しかし、E2E設計原則はインターネットの改善や新しいアプリケーションを容易に、且つ迅速に開発する事が出来た大きい要因であります。もしこの設計原則を廃するすれば、将来のインターネットでは、どのようにしたら、同様な環境を提供できるでしょうか？

最近のネットワーク研究において最も注目すべき動向は「ネットワークの仮想化」であります。「仮想化」とは、“*Logical representation of a given physical resource, when the resource is shared by multiple users.*”

コンピュータ技術で「仮想化」の概念が最初に提唱されたのは、1960 年頃に英国マンチェスター大学のアトラス・コンピュータに導入された「仮想メモリ」であります。1972 年にはIBMがシステム・370 の上で動く「仮想マシン」(VM)なるOSを導入しました。

過去 10 年企業の IT 部門では様々な仮想化技術を導入してきました。サーバーの仮想化、ストレージの仮想化、クライアント(或いはデスク・トップ)の仮想化、ソフトウェアの仮想化などの商品を採用し始めました。このような仮想化技術は、多数のユーザーやアプリケーションが物理的な資源をダイナミックに共有することにより、IT の複雑なオペレーションを簡略化するのみならず、資源の利用率の向上、電気エネルギーの省力化を図れます。上述した仮想回線概念も同様であります。

スライド 17: ネットワークの仮想化

ネットワークの仮想化とは一個或いは複数個のネットワークの物理的資源(ルータ、エンド・ユーザ、リンク等)と機能(ルーティング、スイッチング等)の集合の中から、部分集合を選び、それらを接続して論理的ネットワークを形成することです。複数個のネットワーク・アーキテクチャやプロトコルを別々の仮想ネットワークの上で稼働させる事が出来ます。実在のネットワーク・サービスへの影響は最小限に留めつつ、新しいネットワーク・アーキテクチャやプロトコルの設計、実装、検証を現実的なネットワーク環境の下で行うことが容易になります。この手法は、将来のネットワーク・アーキテクチャの設計やテストベッドの実装に関する研究活動で遍く、採用されています。

スライド 18: 仮想ネットワークとオーバーレイ・ネットワーク

どのレイヤー(階層)で仮想化を行うかによって仮想ネットワークは異なった形をとります。オーバーレイ・ネットワークは仮想ネットワークの一形式であります。オーバーレイ・ネットワークのノードは、下のネットワークの複数のリンクを結んで出来るパスからなる仮想リンク或いは、論理リンクで結ばれています。クラウド・コンピューティングや P2P ネットワーク、クライアント-サーバー・アプリケーション(例えばウェブ・ブラウザとウェブ・サーバー)等の分散システムはインターネットの上に乗ったオーバーレイ・ネットワークであります。そして、インターネットは電話通信網の上に作られたオーバーレイ・ネットワークであります。

スライド 19: AKARI アーキテクチャ

新世代ネットワーク・アーキテクチャは AKARI プロジェクトとして 2006 年に発足しました。慶応大学の青山友紀教授、阪大の村田正幸教授を初め、多数の先生方にも参加して頂いております。限られた時間でこのアーキテクチャの全容をご紹介しますのは、不可能ですので、AKARI アーキテクチャのハイライトの幾つかを簡単に説明します。

これまでのネットワーク・アーキテクチャと同様、レイヤー構造(階層構造)を採用することは当然であります。レイヤー間の境界(Boundaries)を厳格に守るという従来の思想から、ネットワークへの負荷や資源の使用状況に応じて、レイヤー間でコミュニケーションを取り、資源の効率とパフォーマンスを適宜調整できるアーキテクチャを考えています。この様な設計思想を総称して Cross-layer Optimization と呼び、ネットワークおよび通信理論の分野で多数の研究者が取り組んでいます。

スライド 20: ID and Locator in the Internet

現在のインターネットではネットワーク上の機器を識別するための ID として、ネットワーク層における識別番号である「IP アドレス」を使います。当初のインターネット(ARPANET)では、機器はホスト・マシンで

ありその位置は固定していましたから IP アドレスを位置情報即ちロケータ(Locator)として使用することに問題はありませんでした。しかし新世代ネットワークでは、**Mobile** な機器が大多数を占め、固定位置にある機器が寧ろ例外であるとしてネットワークを設計する必要があります。

企業等のネットワークからインターネットなど外部へ複数の経路を使って接続することをマルチホーミングといいます。その目的は信頼度や耐障害度の向上、回線負荷の軽減などですが、特殊な機器を使用したり、複雑な設定を行う必要があり、広く普及するには至っていません。

スライド **21: ID/ Locator Split Architecture**

機器のモビリティやマルチホーミングを効率良く処理するには、ここに示すように、**ID** とロケータを区別し、異なった番号の集合を宛がいます。そうすれば、機器の移動に応じてネットワーク・レイヤー上のロケータが変わっても、上層部での通信に関わる **ID** には影響しません。**ID** からロケータへのマッピングを記録した情報を **IDR (ID Registry)** と呼びます。マッピング・アルゴリズムや **IDR** を何処にどの様に分散させるか等が、この **ID/ Locator Split Architecture** の重要課題であります。この分離アーキテクチャは **Security** の問題を解決するのにも大いに役立ちます。

インターネットの使い方は、従来の機器から機器への通信から、データから人への通信に移りつつあります。我々がウェブ・ブラウザとウェブ・サーバーを介して、欲しいデータ・情報を取って来る場合、データその物が関心の対象であって、何処の、どの機器から持って来るか等には、興味ありません。この様な思想に基づくアーキテクチャをデータ・セントリック(Data Centric) なアーキテクチャと呼びますが、**ID/ Locator Split Architecture** はデータや情報も「物」として取り扱い、それに **ID** を与える事も、問題なく出来る利点があります。Ved Kafle 研究員、井上真杉研究員らはこの分野の研究で論文を多数発表し、**HIMALIS (Heterogeneity Inclusion and Mobility Adaptation through Locator ID Separation)** アーキテクチャを提唱し、**ITU (International Telecommunication Union)** のスタンダードにも貢献しています。

スライド **22: 仮想ノードの Configuration**

NwGN と **JGN-X** プロジェクトの両方に関与している東大の中尾彰宏教授は仮想ネットワークの研究分野で第一人者であり、仮想ノード・プロジェクト(Virtual Node Project) を提案し **JGN-X** の上に実装しています。仮想ノードは二つの部分から成り立っています:従来のルーチングを司る“**Redirector**”の部分と、仮想ノードとしての機能をインplementするプログラムを走らせる“**Programmer**”の部分。ここにある **Slice** とは、仮想ネットワークを意味します。即ちこの仮想ノードは **n** 個の仮想ネットワークのノードとして関わっている事を示しています。ドメイン・コントローラが、プロトコルやデータを処理するプログラムを以って仮想ノードの **Configuration** と制御を行います。

スライド **23: 仮想ノード・プロジェクトに企業も参加**

Virtual Node Project には企業も参加され、理論から実践への移転に大きく貢献しております。NTT はドメイン・コントローラの部分、Fujitsu は他のネットワーク(例えばクラウド)へのアクセスを司るアクセス・ゲートウェイの部分を担当し、日立はルーターを、NEC は制御用の CPU チップの開発を担当しています。詳細は NICT ニュース 2010 年 6 月号の「仮想ノード・プロジェクト」の解説記事[6]を読んで頂きたいと思います。

スライド 24: 光技術の特性:光パケットと光パス

フューチャ・ネットワークでは無線ネットワークを介してモバイル機器やセンサーが端末の主流であろうことは、再三述べましたが、主幹ネットワークには大域幅の広い光リンク、光ネットワークが重要であります。先程アーキテクチャを定義した際に、インプレメンテーション(実装)はテクノロジーに依存するが、アーキテクチャはテクノロジーとは別に考えるべきだと述べましたが、それは原則論であって、光ネットワーク・アーキテクチャは通常の有線や無線ネットワークとは異なります。その大きな理由は、有線や無線ネットワークが扱う電気信号と違い、光信号を処理する簡単で廉価なランダム・アクセス・メモリーや演算回路が実現されていないことにあります。パケット・スイッチングは非同期時分割(或いは統計的時分割)をベースにしていますが、多重化された光信号をそのまま、スイッチング或いは、ルーチングする事は現在の光技術では出来ません。スイッチ或いはルーチングのノードではパケット・ヘッダーを一度電気信号に変換する必要がありますが Payload の方は光信号のままにし、光遅延回路をバッファとして利用することにより、スピードを維持する工夫がなされています。光信号の高速性を最大限に活用するには、波長分割多重方式を採用すべきであります。波長分割多重方式は、有線信号に適用される周波数分割多重方式や同期時分割多重方式と同様、回線交換を提供します。途中のノードで波長ルーター(Wavelength router)を経て構成されるエンド・ツー・エンドの回線を光パスと呼びます。

スライド 25: 光パケットと光パスの統合システム

新世代ネットワークでは、光パケット交換方式と All-optical の光パス回線方式を統合したアーキテクチャを前面に出して、日本の光技術の高さを生かす戦略を取っています。この光統合システムは和田研究員が中心になって開発しています。このスライドで示すように、ハイ・デフィニションの動画の実時間の伝送を必要とする遠隔医療などは、光パスシステムの最適の応用例です。後程 JGN-X テストベッドの話で述べる DCN(Dynamic Circuit Network)もパケット交換を使ったインターネットと光回線交換を統合したネットワークであります。

スライド 26: JGN-X Network Overview

テストベッド JGN-X の前身は研究開発テストベッド・ネットワークとして平成 11 年度に始まった Japan Gigabit Network (JGN);平成 16 年度にマルチキャスト環境と IPv6 テストベッドを整備した JGN2;平成 20 年度に新世代ネットワークの開発を見据えた先進的テストベッド JGN2Plus であります。これらの成果を踏まえ、平成 23 年度から第三期中期計画に基づく取り組みに移行し、新世代ネットワーク技術の実現とその展開のためのテストベッド環境として、JGN-X (JGN eXtreme)を構築、運用を開始しました。

JGN-X では前述した仮想ノードでのネットワーク制御 (Virtual Node Plane と言います) の他にオープン・フロー (OpenFlow) によるネットワーク制御、および DCN(Dynamic Circuit Network) ネットワーク制御をインplementしています。ここにある Plane とは Control Plane Architecture の略称であります。即ち、JGN-X ではこの三つの仮想ネットワークのアーキテクチャの研究が出来ます。

従来のインターネットの制御方式は、主に IP アドレスに頼るルーティングによりますが、OpenFlow では MAC アドレス、IP アドレス、ポート番号などの組み合わせによって決まる通信を「フロー」として定義し、フロー単位での経路制御を実現することによって、品質の確保やネットワークの利用率向上を目指します。OpenFlow スイッチング・コンソーシアムの設立当初から参加しておる NEC は世界に先駆けて、フロー単位での処理を制御する「プログラマブル・フロースイッチ」の開発などに取り組んでいます。

DCN は先程述べた波長分割多重によるオン・デマンドの回線交換を行う All-optical network とパケット交換に基づくインターネットを統合したシステムであります。先程光パスの応用例で述べた遠隔医療システムやスイス Cern にある大型ハドロン衝突型加速器(Large Hadron Collider: LHC)プロジェクト等、先端科学分野に応用されています。

スライド 27: JGN-X International Circuits

JGN-X は日本国内のネットワークの研究開発グループのみならず、全世界のネットワーク・コミュニティと結ばれています。

スライド 28: Research around JGN-X

そして米国のテストベッド GENI の研究グループを初めとしてあらゆる先端的ネットワークやクラウド・コンピューティングのコミュニティとも連携しています。HPC(High Performance Computing)のエミュレーションの環境なども与えます。JGN-X は新世代ネットワーク技術の研究開発のみでなく、将来のネットワーク・アプリケーションを開発する環境を提供することを目指しています。

スライド 29: FIA とテストベッド: 米国の活動状況

米国においては米国科学財団(NSF)が 2005 年に FIND(Future Internet Network Design) イニシアティブを打ち出し、それと平行して GENI(Global Environment for Network Innovations) というテストベッドのプログラムも始めました。

GENIの使命は to provide “a unique virtual laboratory for at-scale networking experimentation where the brightest minds unite to envision and create new possibilities of future internets.”即ち、「最も頭脳明晰な連中が一緒になり、将来のインターネットの新しい可能性を頭に描き、創造するためのネットワーキングの実験を現実的なスケールで行えるようなユニークな仮想的ラボラトリを提供する」としています。

BBN社がGENIプログラムのマネージメントを行っており、チップ・エリオット氏が指揮をとっています。彼は年4回、即ち3ヶ月毎にGEC (GENI Engineering Conference)を開催し、研究資金を受けているグループに進捗情報を発表させます。私はこの三年間で4回GECに出席しましたが、各グループが必死になって頑張っているのを見て感心させられます。特に大学院生やポストドクなど若い研究者のエネルギーを感じます。

スライド 30: GENI Program

現在4つのテストベッド・グループがそれぞれの“Control Plane Architecture”(別名 “GENI Control Framework s” 或いは “Clusters”)の研究開発にNSFの資金を受けています。

PlanetLab (プリンストン大学がリーダー)

ProtoGENI (ユタ大学): “Proto” means “first”, “foremost”, “earliest form of”, cf “Protocol”, “Prototype.”

ORCA (デューク大学と RENCI-Renaissance Computing Institute). ORCA stands for “Open Resource Control Architecture.” A orca means a “killer whale”

ORBIT (ラトガース大学)

スライド 31: NSF Future Internet Architecture (FIA) Program

NSFは2010年にFuture Internet Architecture (FIA) Programを打ち上げました。現在四つのプロジェクトをサポートしています。

MobilityFirst (Rutgers and 7 other Universities)は名前が示すように、モビリティをアーキテクチャに最優先し、セキュリティとトラストに対し、より強い requirements を持たすことを重要視しています。

Named Data Networking (NDN: UCLA and 10 others) はインターネットの使い方はエンド・ツー・エンドの packets 配信からコンテンツ或いはデータ中心のモデルに変わったという観点からネットワークを設計する立場をとっています。

eXpressive Internet Architecture (XIA: CMU and 2 others)はセキュリティの問題を、直接、explicitly に設計に組み込むという姿勢をとります。コンテンツ、ホスト、サービス等をプリンシパル (Principal 主要部)と定義し、夫々のプリンシパルの中に、self-certifying identifier(自己証明識別子)を使って、内部から本質的(intrinsic)なセキュリティを埋め込むという方針をとる。

NEBULA (U. of Penn and 11 others)はクラウド・コンピューティングを中心としたネットワーク・アーキテクチャを考えています。複数のデータ・センターを繋ぎ合わせるコア・ネットワークを介して、公益事業的サービスを提供するネットワークを目指す。

スライド 32: EU's Efforts on Future Internet

EUの活動に関しては、次のスライドで紹介するG-Lab 以外は、直接私自身かかわった事が無く、論文や他人からの耳学問程度ですので、言及は避けますが、最近のユーロの危機からも分かるように、多数の国の意見を調整することにかかなりのエネルギーを注いでいるようです。研究者よりも官僚主導の共同体という感じでしょうか。

スライド 33: G-Lab, etc.

ドイツはEUのFP7プロジェクトに参加していますが、それと平行してBMBF（日本の文科省に相当する）研究資金でG-Lab (German Lab)というプロジェクトを遂行しています。一昨年、昨年の年次総会とコンフェレンスにはアドバイザーとして出席しましたが、今年は都合が付かず欠席でしたので、一年古い情報しかありませんが、ドイツの各大学や研究所のネットワーク研究の共同プロジェクトや情報交換の場を提供しG-Labというテストベッドによる実験場を提供しています。

韓国へは長いこと行っていませんので、なにも申し上げる資格はありませんが、高速インターネット・アクセスなど国策として投資していますので当然、FIAにも力を注いでくると思います。GENIのプロジェクトなどには積極的に米国グループの共同研究者として参加し、GENIのコンフェレンスなどでは日本よりヴィジビリティが高く、侮れない競争相手であると思います。

スライド 34: これからの戦略はどうあるべきか？

では新世代ネットワーク・プロジェクトの今後の進め方はどうあるべきでしょうか？ まず第一は国際連携であります。皆様もわが国のネットワーク研究者の層や大学院生の数が米国と比べて、多分数分の一、或いは一桁位少ないであろう事を認識されていると思います。たとえば、NSFが4つのFIAプロジェクトと4つのGENIプロジェクトをサポートしているのに対し、日本では、AKARI、JGN と仮想ノードが海外から注目されている程度です。従ってAKARIアーキテクチャを更に掘り下げJGN-Xでの実装に専念することは当然大切です。また、NICTではこの中期計画で、産業界や大学と連携し裾野を広げ、新世代ネットワーク基盤上でのサービスやアプリケーションに関する研究開発も含めた、新世代ネットワーク戦略プロジェクトを実践すると聞いています。その際、米国のFIAやGENIの各グループの研究成果を理解し、彼等の優れたアイデアを素早く積極的に取り入れたり、連携できる技術領域は何かを特定したりする事も肝要と思います。

第二に、国際標準化に積極的にリーダーシップの役割を演ずることが大事であると思います。ITUにおける新世代ネットワーク関連技術の標準化において、日本国内の組織が一体となって標準化活動を行った結果、新世代ネットワークのビジョン文書、ネットワーク仮想化、ネットワークの省エネルギー化など、勧告草案が今年次々と合意された事は、大変心強い事です。しかし Computer Scientists が中心である米国のネットワークングのコミュニティーと Communication Engineers が中心のITUとの政治的関係には注意する必要があると思います。

第三に、新世代ネットワーク・プロジェクトを通して、新世代の研究者を数多く育成する環境を作ることと考えて欲しいと思います。研究、特にネットワークの分野は若い人たちのゲームであります。1974年にTCP/IPプロトコルの論文を発表し、今やインターネットの父と崇められている Vinton Cerf 氏は 1943年

生まれ、Robert Kahn氏は1938年生まれですから、論文発表当時彼らは当時30歳、35歳であります。エネルギーと創造性に溢れる若い人たちがエキサイトする環境を提供して欲しいと思います。大学院生の交換留学プログラム等にNICTと国内の大学が積極的に取り組んで欲しいと思います。常に新しい血液(New Blood)を研究組織に取り入れようという意識と努力が大切であります。

最後に、将来のICT分野で国際競争力を持つためには、Innovativeなアプリケーションとニュー・ビジネスを生み出し、育てる環境、文化、そして国家戦略が重要であることを強調したいと思います。Apple, Amazon.com, Google, eBayなどの企業が全て米国で育ち、日本やヨーロッパにはこれらに匹敵するような企業が出なかったのは何故かを考えるべきであります。

スライド 35: スティーブ・ジョブズ氏から何を学ぶべきか？

1ヶ月前に天才的な製品発明・開発・設計者であり、カリスマに満ちた経営者でもあったスティーブ・ジョブズ氏が56歳の若さで亡くなりました。スティーブ・ジョブズ氏はインターネットそのものに貢献はしませんでした。インターネットの能力を巧みに使った新製品を次から次へと生み出し、世界中の無数の人達のライフ・スタイルを変え、アップル社をITの分野でIBMやマイクロソフトを凌ぐ超大企業にした業績を考えますと、インターネットの生みの親達よりも大きなインパクトを与えた人物と言えるでしょう。

私は確か1988年(彼が33歳の時)にジョブズ氏と会う機会がありました。彼は当時、NeXTという新会社で、大学の学生や教授をターゲットとした新しいワーク・ステーションを開発中でした。部下を一人か二人携えプリンストンにやってきた彼の目的は、新製品のユーザーであろう学生や教授達からの反応や意見を求めることでした。アップル社の創業者として既に有名であった彼自身が、態々プリンストン・キャンパスまで来た彼の謙虚さと、ユーザーの意見を積極的に求める彼の姿勢に感心しました。

彼が超満員の大教室でアーキテクチャやユーザー・インターフェースの特徴などを説明、活発な質疑応答の後、夕方は工学部長であった私がホスト役でジョブズ氏を囲んで数人の教授達と夕食をとる事になりました。テーブルに付くや否や、ジョブズ氏は「一寸電話をしたいので、失礼します」と言って席をはずしました。彼の電話は思いのほか長く、我々がメイン・コースを食べ始めた頃に戻ってきました。彼は教授や学生達と意見交換をした際に得たアイデアに基づき、開発中の製品の設計を一部変更をするよう部下に電話で指示していたのです。彼の仕事への集中力と即断力には私も圧倒されました。

2005年のスタンフォード大学の卒業式で来賓として彼の15分のスピーチは大変有名ですが、若しまだ聞いたことのない人は是非、YouTubeビデオでご覧になって下さい。非常に感動的なスピーチであります。

スライド 36: For Further Information

このスピーチはのスライド、あるいはテキストをご希望の方は、Hisashi@Princeton.EDUまでメールを下さるか、私の Blog www.HisashiKobayashi.com をご覧ください。近いうちにアップロードします。

ご静聴、真に有難うございました。

参考文献

- [1] H. Kobayashi, "Forword," in D. Raychaudhuri and M. Gerla (editors), *Emerging Wireless Technologies and the Future Mobile Internet*, Cambridge University Press, 2011.
- [2] 新世代ネットワーク・アーキテクチャ AKARI 概念設計書改訂版 (ver2.0) 2009 年 9 月
- [3] V. G. Cerf and R. E. Kahn, "A Protocol for Packet Network Intercommunication," *IEEE Trans. on Comm.*, 22(5), pp. 637-648, May 1974.
- [4] J. H. Saltzer, D. P. Reed and D. D. Clark, "End-to-End Argument in System Design," *ACM TOCS*, Vol. 2, No. 4, November 1984, pp. 278-288
- [5] H. Kobayashi, "An End to the End-to-End Arguments," *Euroview 2009*, Wurzburg, Germany, July 2009
- [6] A. Nakao, "Virtual Node Project: Virtualization Technology for Building New-Generation Networks," *NICT News*, June 2010, No. 393, June 2010, pp. 1-6.
- [7] J. Pan, S. Paul and R. Jain, "A Survey of the Research on Future Internet Architectures," *IEEE Communications Magazine*, July 2011, pp. 26-35.
- [8] New York Times "Home Internet May Get Even Faster in South Korea," February 21, 2011. http://www.nytimes.com/2011/02/22/technology/22iht-broadband22.html?_r=3
- [9] Steve Jobs's Speech at Stanford University Commencement, 2005
<http://www.youtube.com/watch?v=D1R-jKKp3NA>
<http://sago.livedoor.biz/archives/50251034.html>