

【未来プロデューサー7】

3

インターネット技術の箱庭をつくる

～検証されたネットワーク技術による信頼性の高い情報基盤の
確立を目指して～

三輪信介¹ 宮地利幸¹ 土井裕介² ¹(独) 情報通信研究機構
²(株) 東芝

未来社会に浸透するネットワーク技術と その課題

インターネットと運用技術研究会主催統一テーマセッションとして、「未来社会を支える新技術と検証」というテーマでの議論を行った。本稿では、その議論を振り返りつつ、確かな未来社会を支えるための検証技術に焦点を当てる。

東京工業大学首藤一幸准教授より「大規模ネットワークテストベッドへの期待」と題し、P2P技術を普及展開していくにあたっての経験と、テストベッドに対する期待についての講演があった。P2P技術の展開において、規模を拡大した実地検証の困難さについての紹介があった。また、ネットワークテストベッドへの期待として、スタートアップ企業のような新しい技術を展開する利用者から見た利用のしやすさ、高性能計算向けとは違った実験のやりやすさ、大規模実験のノウハウ共有への期待などが挙げられた。

P2Pに限らず、インターネットがさまざまな仕組みの基盤となるべく、新しい技術を導入する動きは今後も続くことが期待される。1つがクラウドコンピューティングの普及であり、もう1つがスマートグリッドの勃興である。

たとえばスマートグリッドは、電力網(グリッド)をインターネットによる統合制御により効率化する、という一連の技術である。現代の電力網は、交流の周波数変化を検知することで需要と供給のバランスをとっている。しかし、この方法がうまく働くのは、大規模発電所を中心とした統制された電力網においてであり、風力・太陽光エネルギーのような「気まぐれ」な電力源が多量に導入されると安定度を維

持できないと言われている。たとえば、電力網に電力的なセンサやアクチュエータ(バッテリー等も含む)を導入し、インターネット技術によりこれらを接続して統合制御を行うことで、安定度を維持しつつ再生可能エネルギーの導入量を高めることなどが期待されている。

そのような期待の反面、電力網へのインターネット技術の導入により、従来は困難だった電力網に対する攻撃の可能性が懸念されている。電力網への攻撃は、文字通りクリティカルな、致命的な結果を招く可能性が高い。したがって、さまざまな角度から、安定性やセキュリティ等の検討が行われている。

ここで、現在のインターネット自体が重要な「活きた」インフラであるがゆえに、破壊的な検証や教育に利用できないという課題がある。スマートグリッド技術にせよ、クラウド技術にせよ、実際にクリティカルな状況を作り検証することで、その技術はより頑健となる。また、技術者はクリティカルな状況を教育として経験しておくことで、いざそのような状況となっても落ち着いて対処ができるようになることが期待できる。しかし、検証や教育のために、ほかのインターネット利用者をクリティカルな状況に置くことは許されない。したがって、検証・教育のための「箱庭」としての役割を果たせる環境が必要である。

このような環境の1つとして、模擬的とはいえインターネット環境を再現できる「ネットワークテストベッド」が挙げられる。以後、大規模ネットワークテストベッドの1つであるStarBEDについて、今までの取り組みと、未来社会を支えるための今後の展望について述べる。

StarBED における問題意識の 変遷と取り組み

StarBED は 2002 年に通信・放送機構(現情報通信研究機構)により北陸 IT 研究開発センター(現北陸リサーチセンター)に設置された。ネットワーク技術における新技術の検証は、数値解析やソフトウェアシミュレーション等を用いた理論的な検証の後、実地向けに実装しなおした技術をインターネットで利用され得る PC などで構築した環境で実際に動作させることで実践的な検証を行い、その結果により最終的な技術の導入・公開を行う、といった方式がとられる。この頃には、新技術の導入先であるインターネットと実践的検証用のために用意できる PC などの規模と複雑さの乖離が起き、それが検証結果に影響を及ぼすことが問題として認識されつつあった。StarBED は、少しでもインターネットに近い規模と複雑さを持った「実験室」を構築するためのリソースを用意したのである。

StarBED が設置された当初は、当時設置されていた 512 台といった多数のノードをどのように制御し、思い通りの実験を行うかについての研究開発が主たるものであった。このような目的のためにさまざまな実験支援ツールを利用者との連携をもとに構築し、これらが現在の StarBED における実験の支援プログラム群である SpringOS としてまとめられた。そして、SpringOS の機能が満たされるにつれ、検証対象の技術と実験内容についての研究やネットワーク実験そのものの性質などに関する研究が行われ始めた。

StarBED Project は 2006 年に 4 年間の期間を経て終了し、その後、StarBED2 Project が開始した。StarBED Project では、インターネットシステムに着目した研究開発を行っていたが、StarBED2 では、ホームネットワーク、センサネットワーク、モバイルネットワーク、そしてアドホックネットワークといったユビキタスネットワーク技術を対象とし、研究開発を進めている。StarBED2 Project では、ワイヤレスネットワークを StarBED 上に模倣

するための技術の研究開発を進めてきた。これを実現するためのツール群が Quality Observation and Mobility Experiment Tools (QOMET) や Real-time Ubiquitous Network Emulation Environment (Rune) である。QOMET は、ワイヤレス環境上のリンク間の性質を StarBED の有線ネットワーク上に再現する機能を、Rune はユビキタスネットワーク環境に存在する各種ノードや、物理環境をエミュレートし、ユビキタスネットワークの実験環境を提供する機能を持っており、これらと SpringOS との連携により柔軟な実験用環境を構築することを可能とした。図-1 は StarBED Project での対象環境の変遷である。StarBED での取り組みおよびその成果については、文献 1) を参照のこと。

さらに、StarBED では、検証の場としての利用だけでなく、教育のための体験演習環境として利用する取り組み²⁾といった、ネットワークテストベッドの応用についての検討と実践も行うとともに、現在大きなキーワードになっているクラウドコンピューティングについての取り組み³⁾も実践的に始めている。

未来社会を支えるための ネットワークテストベッドとは

1990 年代後半からの ICT システムは、インターネットを中心として展開してきた。この大きな流れは、今後もしばらくは変わることはないと考えられるが、その中心となるインターネットの周辺に多くの要素が加わるようになることで、ICT システムの全体像はより複雑な相を成すと思われる。このように、複雑さと同時に重要性を増していくインターネットを中心とした ICT システムにとって、起こり得る問題を予見するような検証や、実際に運用を行う人材の育成を行うための基盤は非常に重要であると考えられる。

ある新しいシステムをこのような環境に導入しようと試みる場合、その影響範囲を正しく把握するためには、関連するデバイスのネットワークから、そ

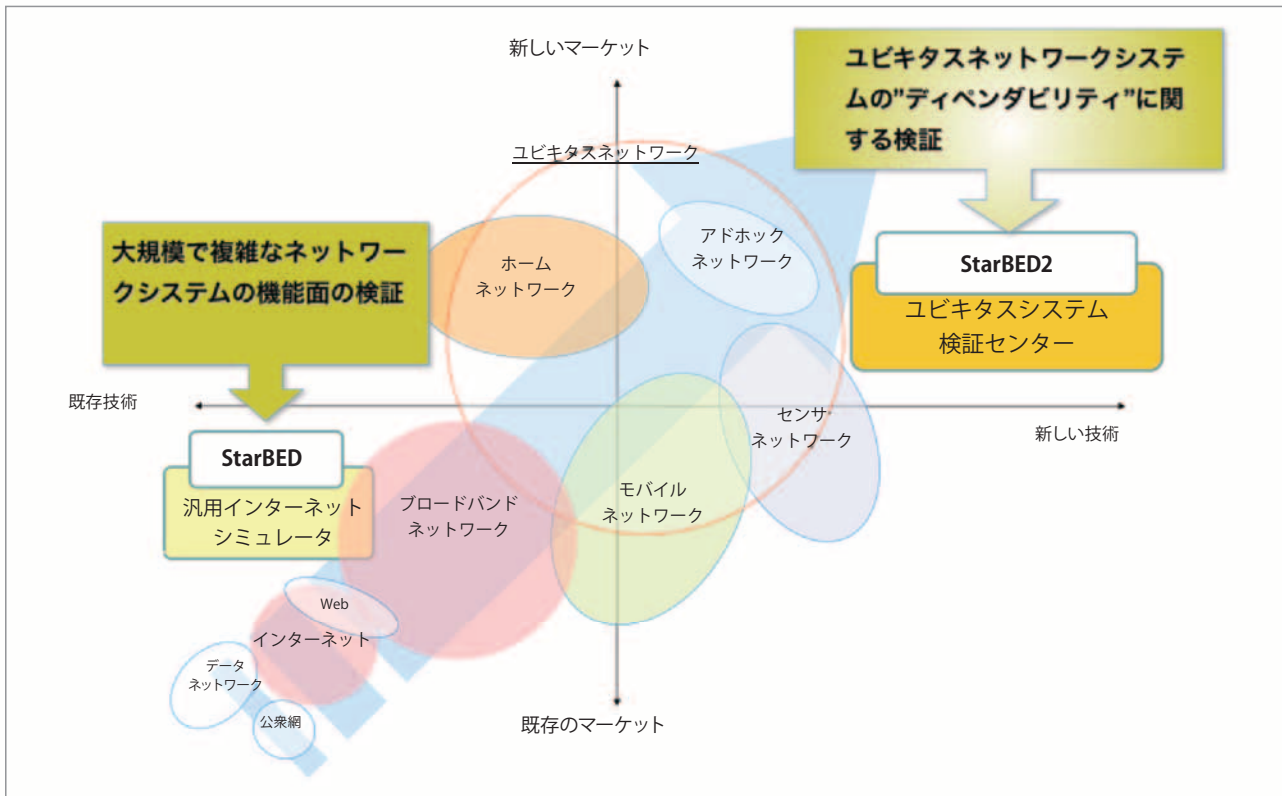


図-1 ネットワークテストベッドと対象とする技術

のネットワーク間を接続するインターネット、システムが実現するサービスやアプリケーション、ユーザからのもしくはユーザへの影響までの広い範囲を対象とした検証が必要となる。すなわち、複数の層をまたぎながら大規模な検証が必要となると考えられる。StarBEDのような大規模なネットワークテストベッドでの検証の基本的な考え方は、ソフトウェアおよびハードウェアの実装を利用したエミュレーションを用いる方法である。しかし、実装を利用したエミュレーションは、多くの計算機もしくはネットワークの資源を必要とする。そのため、検証の対象となるシステムが複数の層に跨り、かつ検証の規模が大規模になる場合には、資源の不足が予測される。

そこで、対象に応じてエミュレーションの粒度を制御する。詳細な再現・模擬を必要とする部分は実装をベースとしたエミュレーションを行い、概略的な影響を測ることができれば十分な部分についてはモデルベースのシミュレーションを組み合わせる。この方法によって、すべてを細粒度のエミュレーション

により実施する場合に比べ、少ない資源でより大規模で複雑なシステムのエミュレーションを行うことができる。このようなエミュレーションの構成を行うことで、資源の高効率での利用を図ることが考えられる。現在でも、検証の内容に応じてこのような試みは行われているが、検証ごとに検証者が組合せを検討し、検証環境を構築しており、平易に行えるわけではない。このような組合せによる検証への要求が増えると考えると、ある種の検証に関する記述から、エミュレーションの粒度の組合せと制御を自動的に実現するような仕組みが、今後のネットワークテストベッドには求められる。

また、単一のネットワークテストベッドでは、機能的な不足が起こることも予測される。たとえば、StarBEDではL2層以下については一般的なEthernetで構成されるLANを想定しており、その他の構成を必要とする場合には、L2層以下のエミュレーションを用いる必要がある。そのため、アプリケーション層からの情報に従って構成を変えるような機構を有するL2層以下を想定している新しい

世代のインターネットの代替技術を含むような検証を StarBED 単体で実施するのは難しい。そこで、JGN2plus⁴⁾ や GENI⁵⁾ /FIND⁶⁾ のような下位層のネットワークテストベッドと組み合わせ、検証を行うことが考えられる。

これは、上位層についても同様で、たとえば家電や家庭向けのセンサを含む環境の検証を行う際には、温度などの物理環境やエアコンなどの家電、さらにはユーザの行動などの既存のインターネット上には存在しなかった情報を含む検証が必要となる。このような一般住宅に関するネットワーク環境の実証実験のためのテストベッド等があり、実際の一般住宅に電力や人感などの種々のセンサと家電などのデバイスを導入し、検証することが可能となっている。

このように、機能的な不足を相互に補うためにネットワークテストベッドやその他のテストベッドについての垂直的な連携が必要となる。しかし、現状ではこのような連携は、個別に行っており、テストベッドの仕組みとして連携が支援されていない。これは、同種のテストベッド間での水平的な連携でも同様である。今後のネットワークテストベッドには、このような垂直的・水平的連携を支援するための機能が必要となるだろう。

以上のように、多層に跨って複雑化する ICT 環境の未来を支えるためには、大規模ネットワークテストベッドの役割がさらに重要になると考えられる。そのため、我々は、大規模ネットワークテストベッドをそれぞれの層での機能拡張および連携に対応させていく。さらに、ネットワークテストベッドを用いることによって得られた検証の手法や計測結果、

技術上の問題などの知見を大規模ネットワークテストベッドに蓄積することで、知見の共有を図り、それを元にしたベンチマークの策定や人材育成への応用などを行うことで、複雑化する ICT 環境全体の技術を支える知識基盤に育てていきたい。

参考文献

- 1) 宮地利幸, 中田潤也, 知念賢一, Razvan Beuran, 三輪信介, 岡田 崇, 三角 真, 宇多 仁, 芳炭 将, 丹 康雄, 中川晋一, 篠田陽一: StarBED: 大規模ネットワーク実証環境, 情報処理, Vol.49, No.1, pp.57-70, ISSN 0447-8053 (Jan. 2008).
- 2) 宮地利幸, 三輪信介, 篠田陽一: ネットワークテストベッドを利用した体験演習環境の構築, 日本教育工学会論文誌, Vol.34, No.3 (2010) (掲載予定).
- 3) 三輪信介, 宮地利幸, 中川岳史, 中井 浩, 太田悟史: クラウドコンピューティング技術の検証環境の構築と運用について, 電子情報通信学会, 情報ネットワーク研究会 (Dec. 2010).
- 4) 情報通信研究機構: JGN2plus: 超高速・高機能研究開発テストベッドネットワーク, <http://www.jgn.nict.go.jp/> (2010).
- 5) GENI: GENI SPIRAL 1 ANNUAL REPORT 2009, http://www.geni.net/wp-content/uploads/2010/02/Spiral1_Annual_Report.pdf (2009).
- 6) National Science Foundation: FIND: NSF NeTS FIND Initiative, <http://www.nets-find.net/> (2010).
(平成 22 年 11 月 2 日受付)

三輪信介 danna@nict.go.jp

1999 年北陸先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年同大情報科学センター助手。2001 年 (独) 通信総合研究所 (現 (独) 情報通信研究機構) 研究員。2008 年より同主任研究員。インターネットのセキュリティおよびその再現実験環境の構築方法の研究開発に従事。博士 (情報科学)。USENIX, ACM 各会員。

宮地利幸 (正会員) miyachi@nict.go.jp

2007 年北陸先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年 (独) 情報通信研究機構北陸リサーチセンター研究員。ネットワーク実験に関する研究に従事。博士 (情報科学)。電子情報通信学会会員。

土井裕介 (学生会員) doi@wide.ad.jp

2000 年慶應義塾大学大学院修士課程修了。同年より (株) 東芝研究開発センターで分散システム関連研究に従事。2008 年より在職のまま東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程に入学。電子情報通信学会, ACM 各会員。