

2.6 テストベッド技術

2.6.1 概要

テストベッド研究開発推進センターでは、テストベッドを活用した研究開発体制を強化しつつ、広域テストベッドネットワーク「JGN」及び大規模汎用ネットワークエミュレータ「StarBED」を運用し、その利活用を促進している(図2.6.1)。

通信・放送機構(TAO)時代の平成11年に研究開発テストベッドネットワーク「Japan Gigabit Network」(JGN)の運用を開始し、平成16年には、大規模マルチキャスト環境やIPv6テストベッドを整備した「JGN2」、平成20年には、新世代ネットワークの開発を見据えた先進的なテストベッド「JGN2plus」として技術動向を踏まえながらネットワーク機能・性能を拡充し、その運用を通じて先進的なネットワーク技術の研究開発や多様なアプリケーションの実証実験等、幅広い研究活動を推進してきた。

また、StarBEDは、TAO時代の平成14年に、512台のPCサーバを相互接続スイッチで接続した大規模汎用のインターネットシミュレータとして構築され、運用を開始した。平成18年には、ミッションスコープをユビキタスネットワークに拡大し、StarBED2としてバイナリーコードレベルで最終製品に近い形でのシステム検証ができる1,000台以上のPCサーバから成るテストベッドを構築し、提供してきた。

これらの運用を通じて、ICTの先進的な研究開発を推

進するとともに、人材育成、地域の研究活動、技術の産業化、国際連携等の促進に貢献し、併せて、様々な知見やノウハウを集積してきた。

平成23年4月、NICTの第3期中期計画スタートに合わせ、テストベッド研究開発推進センターを設置し、テストベッドを活用した研究開発体制の強化とともに、機能・性能をバージョンアップしたJGN eXtreme (JGN-X)及びStarBED³の運用を開始した。

JGN-Xでは、構築・運用の目的を新世代ネットワークの確立とその展開にフォーカスし、日本を縦断する広域ネットワークに様々な新技術を実装するテストベッド環境を活用することで、ネットワークユーザと効果的に連携して、無線・光技術の統合管理、ネットワークの仮想化、多種多様レイヤの運用管理等の研究開発を加速している。

StarBED³では、ミッションスコープを新世代ネットワーク及びそのセキュリティ、サービスに関する技術の研究開発に拡大するとともに、様々な有線・無線が混在したネットワークやサイバーフィジカルシステムへと手法の拡大を図り、大規模エミュレーション基盤としてソフトウェア実装レベルでの実証・検証を可能とするテストベッドを提供し、ネットワーク研究開発を支援している。

当センターでは、これらJGN-XとStarBED³との融合を通じて、シミュレーション、エミュレーション、広域実システム実験までシームレスに実現可能な有無線統合テストベッドを構築してきた。このテストベッド環境

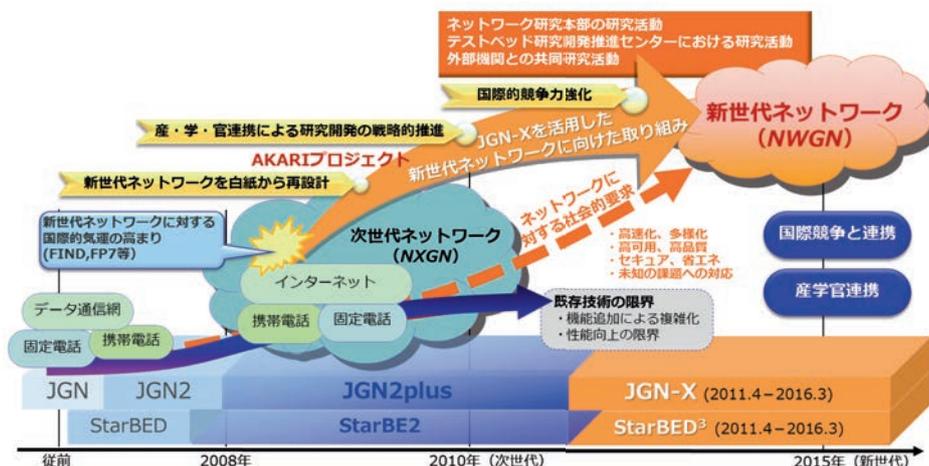


図2.6.1 新世代ネットワークに向けた取組

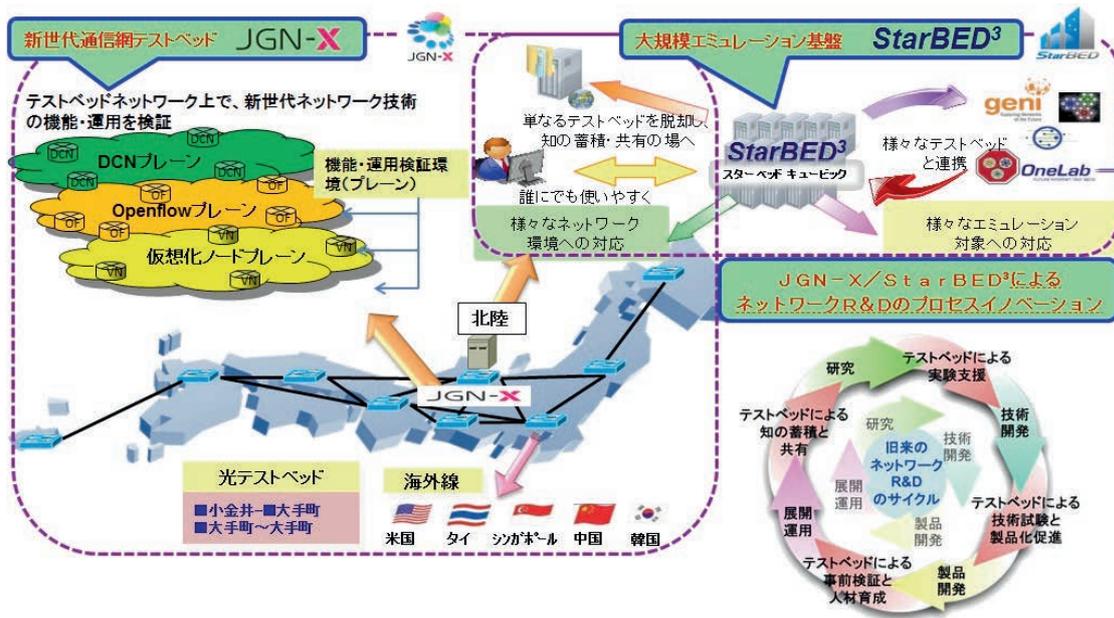


図2.6.2 JGN-X と StarBED³ の概要

を活用し、産・学・官による新世代ネットワーク技術の研究開発と実証をスパイラル的に進展させ、その成果を本環境にタイムリーにフィードバックするとともに、国内外のテストベッドとの連携を拡大していくことで、新世代ネットワークのプロトタイプの新規創出を目指している(図2.6.2)。

2.6.2 JGN の研究、提供サービス、成果

(1) JGN

JGN とは、通信・放送機構 (TAO) が超高速光ファイバ通信網 (ギガビットネットワーク通信回線) と共同利用型研究開発施設 (ギガビットラボ) (図2.6.3) を整備し、平成11年度より平成15年度末までの間、大学、研究機関、行政機関、地方自治体、企業等に開放した広域テストベッドネットワークである。

JGN は、全国10か所の ATM 交換設備及び54ヶ所の接続装置を超高速光ファイバ (最大2.4 Gbps) で結んでおり、当時では世界でも類を見ない大規模な IPv6 対応テストベッドでもあった。

また JGN 関連設備としては、民間企業・研究機関向けに開放されている「共同利用型研究開発施設」(ギガビットラボ:5か所) と、高速ネットワークの運用・管理技術等に関する TAO の直轄研究施設である「リサーチセンター」(4か所) を整備していた。これにより、光ファ

イバ社会の早期実現に資する研究開発を促進した。

(2) JGN2

JGN2 は、NICT が平成16年4月から平成20年3月まで運用した全国規模のオープンなテストベッドネットワークであり、次世代のネットワーク (NGN) 関連技術の一層の高度化や多彩なアプリケーションの開発など、基礎的・基盤的な研究開発から実証実験までを推進することを目的として整備された。一般の研究者の方々に幅広く活用いただくとともに、全国7か所に整備されたりサーチセンターによる先端的な研究開発の実施により、次世代ネットワークへの道筋を拓き、さらにこうした研究活動を通じて、国際連携の強化、ICT 人材の育成、地域の活性化、産業の活性化に大きく貢献した。

NGN 環境における重要ポイントの1つでもある VoIP/SIP 機器の相互接続試験を主導的立場で実施し、実証実験には、国内外の数多くの機関が参加し、マルチベンダによる機器の相互接続性が確認できた。また、本接続実験にて発見した問題点を踏まえて、技術仕様等を TTC 及び IETF へ提案し、国内・国際標準化活動に貢献した。

IPv6 の普及に向けて、JGN2 IPv6 ネットワークの設定・運用、さらに IPv6 マルチキャストの信頼性検証や負荷検証、相互接続性検証、Firewall の IPv6 化検証等を実施し、各種機器の実用化へ貢献した。複数の放送局と共同

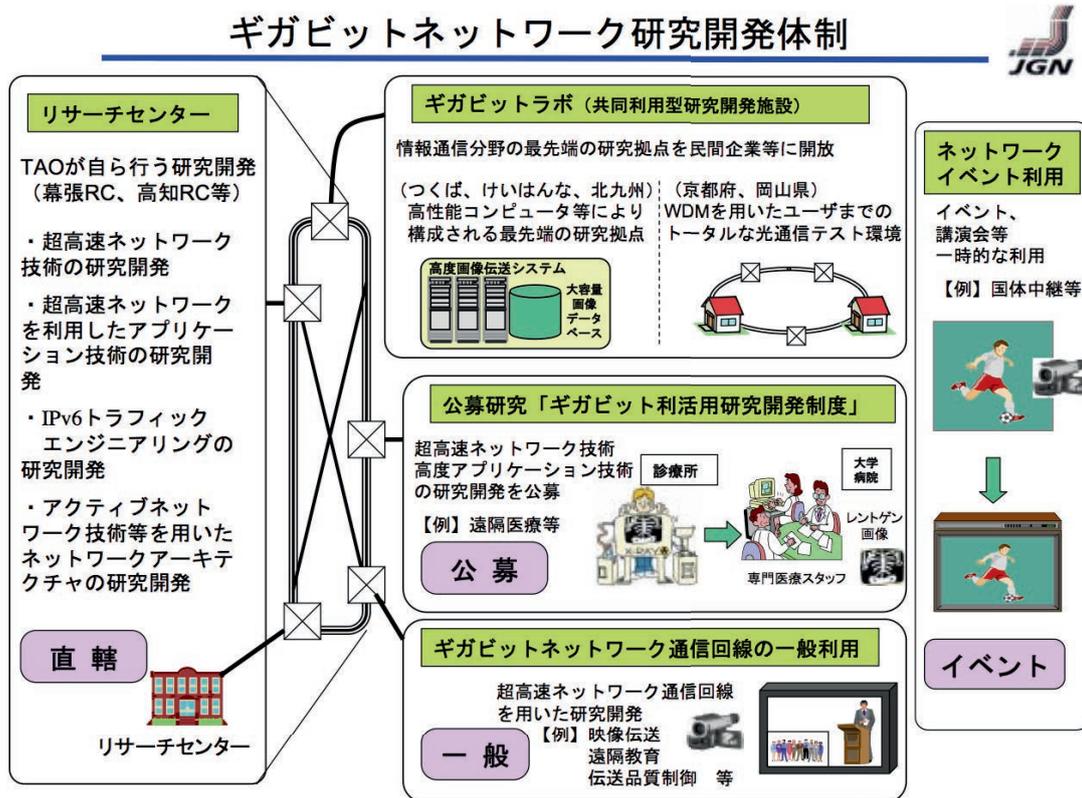


図2.6.3 ギガビットネットワーク研究開発体制

で行ったさっぽろ雪祭りのHD映像伝送実験では、IPv6の放送での実用性を実証した。

研究開発テストベッドネットワークを介したネットワークの研究活動の国際化が著しく進み、各国ネットワークの相互接続が盛んになった。JGN2も米国、タイ、シンガポールへの国際回線を整備し各国のネットワークとの相互接続を図ることにより、国際共同研究プロジェクトを推進することで、我が国の国際競争力の向上と、国際連携を通じた技術の国際展開に注力した。毎年、世界最大規模のデモ展示を開催するSCにも、リサーチセンターをはじめ多数のプロジェクトが参加し、中でも長距離・大容量データ転送速度の世界記録を更新(平成16～18年)するなど、国際競争力の向上としても大きな成果を挙げた。

さらに、平成17年には、光ネットワークの制御プロトコルであるGMPLSを用いたネットワークについて、複数キャリア間・複数ドメイン接続であるE-NNIを世界で初めて実証した。この成果が世界的に評価されたことで、日米の共同研究へと発展し、平成18年にはGMPLSネットワークによる世界初の2国間接続実験を行い、日米3地点間での10 GbpsのE-NNIパスに成功し

(図2.6.4)、技術の実用化及び国際展開に貢献した。また、アジア・太平洋地域との各種の共同研究活動を通じて、我が国が得意とするIPv6の普及を目指す等、我が国の技術の国際展開にも大いに貢献した。



図2.6.4 日米のマルチドメイン間でのGMPLS相互接続実験の構成

また、全国47都道府県のアクセスポイントを有効活用し、JGN2の利用母体である次世代高度ネットワーク推進会議利用促進部会及び全国11地域に設置された19の地域協議会を中心として、全都道府県で各所の研究プロジェクトが立ち上がり、地域の研究活動の活性化に大きく貢献した。地域情報ハイウェイ等との相互接続も積極的に行われ、複数の地方自治体がJGN2を介して公共分野のアプリケーションに関する実証実験等に参加

したり(図2.6.5)、地方自治体の横の連携を強めるなど、新しい形での地域の交流も促進された。

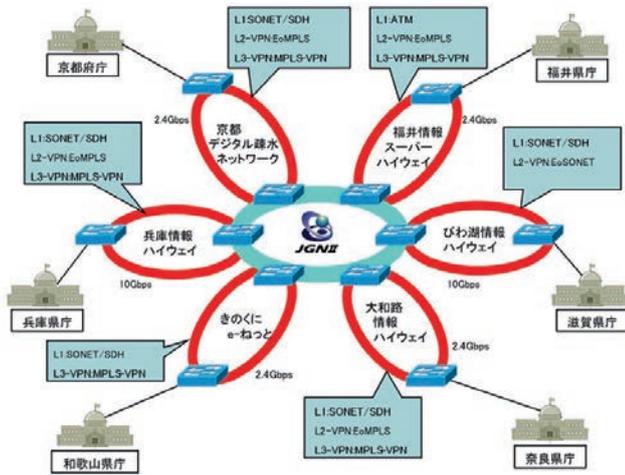


図2.6.5 地域情報ハイウェイ接続のネットワーク構成図
兵庫・京都・滋賀・福井・奈良・和歌山における事例

(3) JGN2plus

JGN2plus は、新世代ネットワークの実現に向けたネットワークに関する運用・管理・利活用技術等の研究開発を行うため、平成20年度から3か年運用・活動してきた。

これらに関連する様々な研究活動を NICT 大手町ネットワーク研究統括センターに集約し、産学官の連携を図りながら研究開発活動を実施した。さらに、新世代ネットワークに係る国内外研究開発プロジェクトとも連携しつつ、全国の主要な拠点と海外の拠点(米国、シンガポール、タイ、韓国、中国)を結ぶ研究開発テストベッドネットワークである JGN2plus を運用することにより、国内

外の研究機関と連携した研究開発・実証実験等を推進した。

マルチメディアサービス制御技術(IMS)対応のソフトウェアを開発し、各国との相互接続試験(平成20~22年)において高評価を受け、国際標準化団体へ技術寄与した。またこのソフトウェアをオープンソースとして公開し(平成22年)、25か国156ユーザからダウンロードされた。

また、オーバレイエージェントプラットフォーム「PIAX」をサービスプラットフォームとしてJGN2plus上に展開するとともに、NICT北陸リサーチセンターのネットワークシミュレーション装置上で大規模シミュレーションを実現するデモシステムを開発し、気象センサーネットワークプロジェクト(Live E! プロジェクト)と連携して、平成21年には、「CEATEC 2009」で開催した「NICT スーパーイベント」において、世界最大規模(100万ノード1,000億データエントリ)のシミュレーションデモを行った(図2.6.6)。また、PIAXの一部をオープンソースとして公開し、世界42か国で1,800回以上ダウンロードされた。

新世代ネットワーク技術である DCN、OpenFlow、仮想化ノードを JGN2plus で機能拡張及び運用検証し、平成23年のさっぽろ雪まつりでは複数の新世代のネットワーク技術の同時運用の総合実証を行い、放送局が使用するコンテンツの放送配信に成功した。さらに、標準化作業中の IPv6 トンネルプロトコル技術を実装した SA46 T を日本とタイで接続し、ハイビジョン映像伝送の世界初の実験を行った。

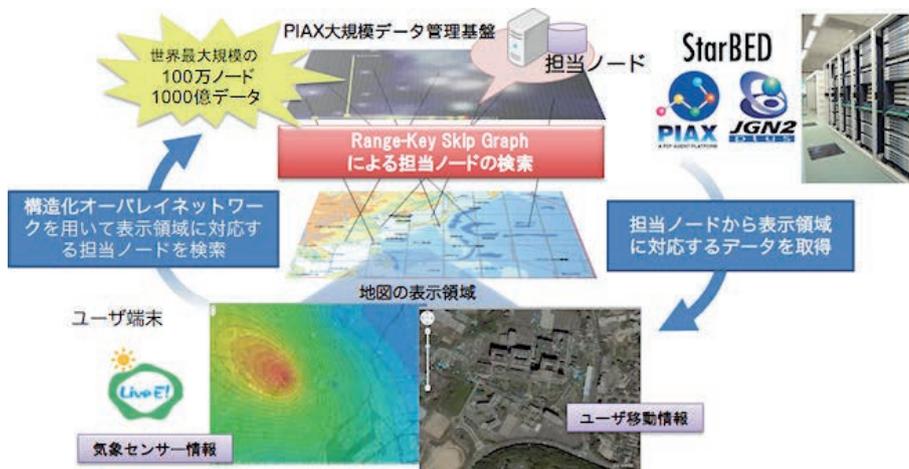


図2.6.6 PIAX を利用した実証実験概要

一般利用においては、平成21年の皆既日食ライブ高品質映像伝送実証実験において、複数拠点からの動画ソースをリアルタイムに国内32か所、海外5か所以上と、世界最大規模での配信の成功に寄与した(図2.6.7)。また、国立大学法人東京大学が、SCにて「バンド幅チャレンジ」に参加し、Webを介した日米間データ転送で6.5 Gbpsを達成し、「バンド幅チャレンジ・インパクト賞 (Impact Award)」を受賞するなど国際的に技術をアピールした。



図2.6.7 皆既日食中継の実証実験

(4) JGN eXtreme (JGN-X)

JGN-Xは、日本全国更には海外に及ぶ広域ネットワーク(L2/L3)を構築し、ネットワーク研究の実証実験のための基盤サービスとしてIP仮想化サービス(仮想ネットワーク、仮想ルータ、仮想計算機、仮想ストレージ)を提供している。また、新世代ネットワークの要素技術として、SDN/OpenFlow (RISE テストベッド)、DCN、PIAX、仮想化ノード等を展開し、試験サービス(パートナーシップサービス)の運用を通じて、それらの高度化を図っている。さらに、これらの基盤技術の有機的な連携(ネットワークオーケストレーション)の実現を目指している。

近年、ネットワークにおける通信制御の仕組みを、従来のように中継機器内にプロトコルとして一体化した形で実現するのではなく、機器の外部のコントローラにより自由にプログラム可能にするSDNという考え方が提唱され、研究開発が広く進められている。NICTでは、平成21年よりJGN2plusの上にOpenFlowネットワークを広域展開し、トラフィック制御やアプリケーションとネットワークの連携など、様々な実証実験を行ってきた。こうした実証実験で得られたノウハウを生かし、平

成23年にこのOpenFlowネットワークをテストベッドRISEとして再構築し、サービスを開始した。大規模ネットワークへのSDN/OpenFlow導入に必要なマルチテナント化を実現する階層分散コントローラアーキテクチャを検討し、複数ドメイン環境でドメイン内及びドメイン間の情報管理、共有の仕組みを開発した。また、下位物理ネットワークから独立してトポロジを自由に実現する機能を開発した(図2.6.8)。更には、光コアネットワークとエッジL2ネットワークとのSDN連携も検討しており、NICT光ネットワーク研究所の開発した光パス・光パケット統合ネットワークに、SDN/OpenFlowのネットワーク抽象化モデルを適用し、イーサネットベースのSDN/OpenFlow環境のRISEと相互接続、OpenFlowコントローラによる統合制御を実現した。

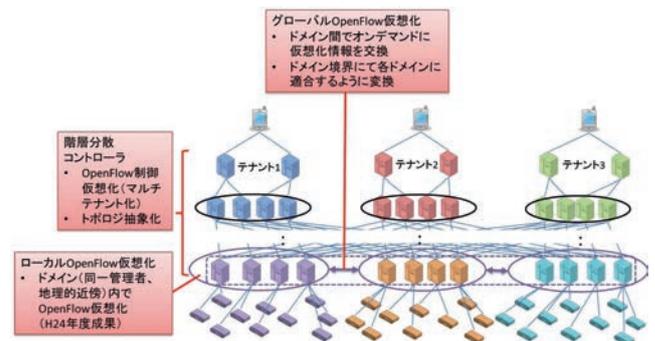


図2.6.8 大規模SDN/OpenFlow仮想化のアーキテクチャ

運用管理に関しては、JGN-XとStarBED³の多種多様な仮想リソースを統一的に記述し、インフラ横断的なテストベッド環境の構築を実現する統合管理運用フレームワークのプロトタイプを開発(国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学との共同研究)し、JGN-Xの基幹ネットワークサービスとして導入を進めているVPLSネットワークの管理運用において、JGN-Xでのサービス提供モデルに合わせて設定を抽象化し、インタフェースをベンダー独立に実現するシステム(GINEW)を開発、JGN-Xで試験的に導入した(国立大学法人東京大学、慶應義塾大学との共同研究)。

また、災害時に断絶したり非常に狭帯域となる可能性がある被災地のネットワークに対して、被災地側及び広域側の両方でSDN技術を応用し、それらの連携により状況に合わせたサービス最適化を実現する制御の仕組みを検討し、プロトタイプを実装(NECとの共同研究)し

に取り組むとともに、その後も設備の拡張を行った。平成21年4月には、トータル1,070台のPCサーバから成る、世界最大規模のエミュレーション基盤となった。そして、平成22年12月には、次世代ユビキタスネットワークを構成する各種ネットワークシステムの検証技術が迅速かつ高精度に行えるシミュレーション環境の構築技術を確立した。

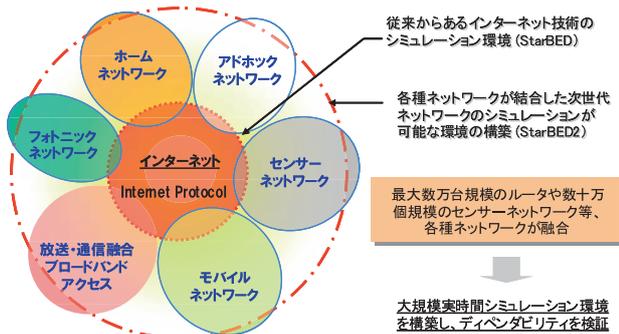


図2.6.11 インターネットを取り巻くネットワーク

(3) 第3期プロジェクト「StarBED³ (スターベッド・キュービック)」

平成23年4月に、テストベッド研究開発推進センターに所属する研究室となり、名称も「北陸 StarBED 技術センター」に変更された。同時に、プロジェクトの名称も「StarBED³ (スターベッドキュービック)」とし、ミッションスコープを新世代ネットワーク及びそのセキュリティ、サービスに関する技術の研究開発に拡大して、

テストベッド研究開発推進センターの「JGN-X」との相互連携を図りつつ、大規模エミュレーション基盤として、新世代 ICT システムへの対応や R&D ライフサイクルサポートを目標に掲げ、以下の研究開発を開始した (図2.6.12)。

- ・有線と無線が混在し、物理線からアプリケーション・サービスまで複数の層にまたがった様々なネットワーク環境への対応
- ・クラウドコンピューティングやサイバーフィジカルシステム (CPS) などの新しいコンピューティングパラダイムへの対応
- ・大規模エミュレーション環境 StarBED に、様々なネットワーク関連技術の各開発段階における検証や実験を柔軟かつ容易に受け入れ可能とするため、ユーザインタフェースの強化
- ・単一のエミュレーション環境だけでは機能にも規模にも限界があるため、他のテストベッドと連携することで機能や規模の強化

その研究成果の一例として、「Interop Tokyo 2014」で、ネットワークの可視化と直感的な操作を実現した「インタラクティブ無線メッシュネットワーク計画」、及びサイバーフィジカルの検証環境として構築した「実験住宅 iHouse を活用したサイバーフィジカルシステム (CPS) 検証環境の構築」の展示を行った。

StarBED³は平成26年10月現在、合計1,398台のPCサーバ規模まで拡張され (図2.6.13)、ノード数で100万台レ

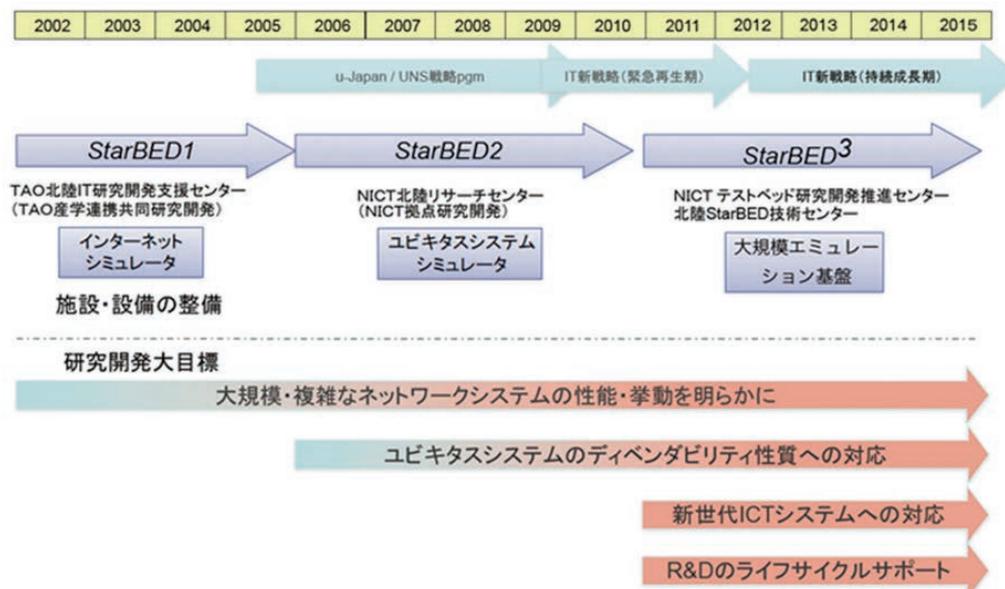


図2.6.12 StarBEDの変遷

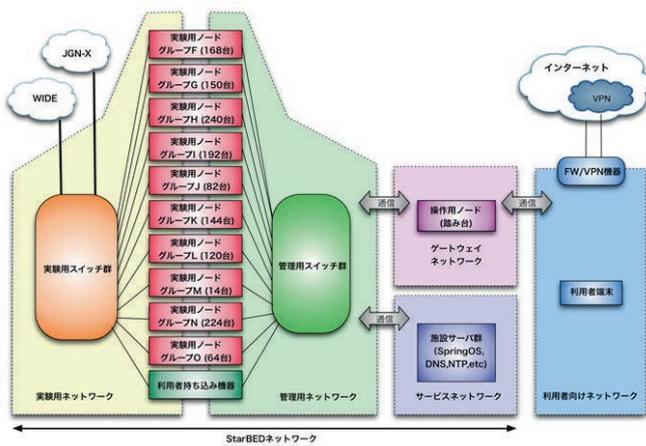


図2.6.13 StarBED³のシステム構成 (平成26年10月現在)

ベルまでのエミュレーションに対応可能な、世界最大規模のエミュレーション基盤として運用が続けられている。

このようにStarBED³は、世界の先端を行くエミュレーション環境とそこで開発された最新の技術により、新世代のネットワーク関連技術の研究開発を支える総合的研究基盤を構築するとともに、様々な有線・無線が混在したネットワークやサイバーフィジカルシステムへと手法の拡大を図り、大規模エミュレーション基盤としてソフトウェア実装レベルでの実験・検証を可能とするテストベッドの提供と、ネットワーク研究開発の支援を行っている (図2.6.14)。

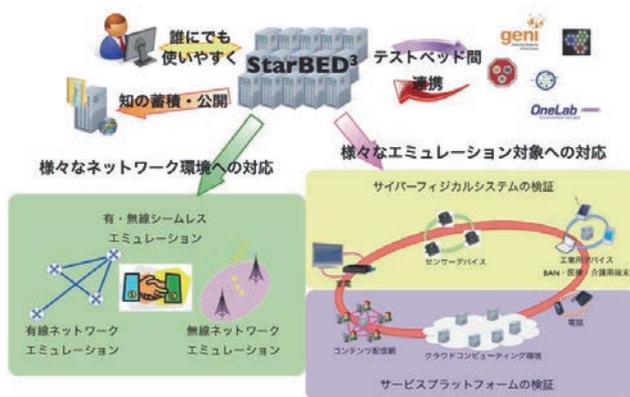


図2.6.14 StarBED³の狙い