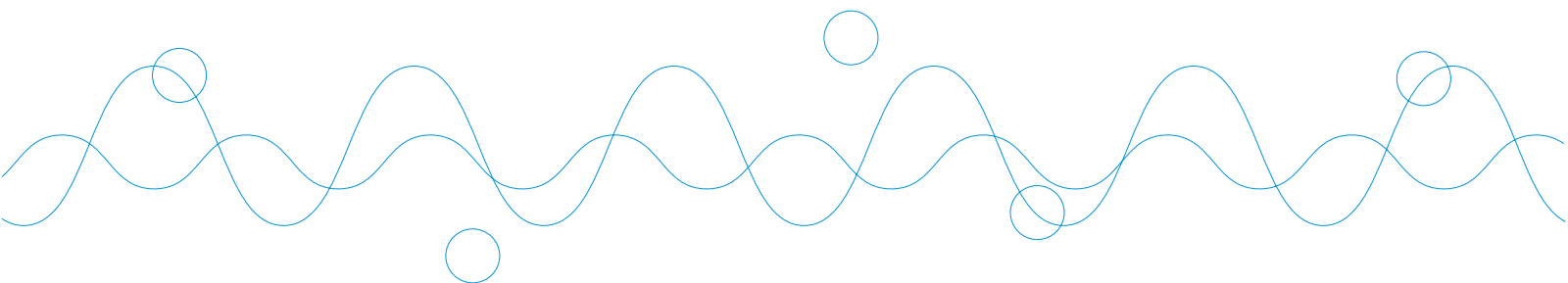


ATTAAT A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTC GCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTA ACT CTCAGACC

戦略プログラム 新世代ネットワークの実証的研究推進 —社会への実装をめざしたネットワーク研究の提言—

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

Executive Summary

本プロポーザルでは、大学を中心として推進すべきネットワーク研究の課題を示し、その課題に取り組むための研究体制の変革と関連する施策に関する提言を行う。

ネットワーク産業は国家の重要社会基盤を支える産業であり、この分野での国際的な競争で優位にたち産業を維持発展させていくことは、産業振興と安全保障の面からも日本にとって重要である。このためには重要な研究課題に取り組むとともに、中長期的に実証的研究力をもった人材育成を図らなければならない。また、実証的な研究が大学内での人事評価システムや学会などでも十分に評価されるようにし、人材育成に大きな影響をもつ大学での研究体制を改善し、研究者、技術者をめざす学生の動機づけを向上させなければならない。

ここでいう「実証的研究」とは、理論やアイデアを応用し、実用に供するソフトウェアシステムの構築を行い、ネットワークにおいて実際に利用され、検証、評価されるまでを睨んでの研究や、理論的裏付けはあきらかになっていないが経験的に得られている知見やアイデアを基にしたソフトウェアなどを実装し、利用、評価されるような研究のことである。これは必ずしも直ちに実用化に結びつく研究のみではなく、新しい発想に基づく研究であって、大規模な開発や実際の運用からのフィードバックに基づく継続的な改良など、長期的な取り組みが必要なものも想定される。また必ずしも研究のすべてのフェーズを大学のみで実行することは必須の条件ではなく、公的研究機関や産業界との連携をはかり適切にバトンタッチしていくことも考えられる。

このため次に示すような研究課題に取り組んで、実証的な研究を重視した研究体制を推進し、人材育成を図る。

1. 「新しいネットワークアーキテクチャ」に関する研究課題
 - ・インターネットのふるまい、トラフィックのふるまいに関するモデルや理論の構築
 - ・現在のインターネットアーキテクチャにとらわれない新しいネットワークアーキテクチャの基礎研究
 - ・アーキテクチャを検証し研究推進するための大規模、並列、統合型シ

ミュレータの構築とその応用

2. 「ネットワークディペンダビリティ」に関する研究課題

- ・重要な社会基盤としての安定性、信頼性の確保と、その評価にかかわる研究
- ・大規模災害を考慮した信頼性の高いネットワークとその評価手法の研究
- ・省エネルギーに留意したネットワークアーキテクチャ

3. 「ネットワーク情報信頼性」に関する研究課題

- ・情報の信頼性に関する研究
- ・情報の信頼性にかかわる社会制度に関する研究

これらの研究課題を実証的に推進するための大学を中心とする研究推進体制と、関連機関の施策について提言する。IT分野、とくにネットワーク分野の研究では、基本的な技術シーズや原理原則が発見され、それが応用や実用化につながるという場合はまれであり、データ共有や安全な通信、帯域の有効、公平な利用といったような、利用者の要求を満たすために研究が発展したという経過をたどったものがほとんどである。したがってこのような特徴に注意し、それに応じたファンディングをしなければならない。そのためにも、社会ニーズや利用者の要求の抽出と整理、それに続く実証実験と実用化という一連の流れにそった研究開発の強化が有効であり、本提言はそれをめざすものである。

これらの研究開発施策の実施により、日本のネットワーク分野における産業競争力が強化され、高度な技術者、研究者の人材育成の強化が期待できる。

目 次

1. 新世代ネットワークの実証的研究推進とは	1
2. 新世代ネットワークの実証的研究推進に投資する意義	5
3. 具体的な研究開発課題	9
3.1 新しいネットワークアーキテクチャ	9
3.2 ネットワークディペンダビリティ	10
3.3 ネットワーク情報信頼性	10
4. 研究開発の推進方法	13
5. 科学技術上の効果	15
6. 社会・経済的効果	17
7. 時間軸に関する考察	19
8. 検討の経緯	21
8.1 検討の開始	21
8.2 分科会の実施	21
8.3 ワークショップの成果	22
9. 国内外の状況	23
9.1 国内の動向	23
9.2 米国の動向	24
9.3 欧州の状況	25
参考文献	27
専門用語説明	29

1. 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

「新世代ネットワークの実証的研究推進」とは、新世代ネットワークに関連する研究課題に対して、ネットワーク研究の特殊性を考慮し、以下に述べる意味での「実証的研究」を推進するために適した研究体制を整え大学等で長期的に課題に取り組むことである。

ここでいう「実証的研究」とは、理論やアイデアを応用し、実用に供するソフトウェアシステムの構築を行い、ネットワークにおいて実際に利用され、検証、評価されるまでを睨んでの研究や、理論的裏付けはあきらかになっていないが経験的に得られている知見やアイデアを基にしたソフトウェアなどを実装し、利用、評価されるような研究のことである。これは必ずしも直ちに実用化に結びつく研究のみではなく、新しい発想に基づく研究であって、大規模な開発や実際の運用からのフィードバックに基づく継続的な改良など、長期的な取り組みが必要なものも想定される。また必ずしも研究のすべてのフェーズを大学のみで実行することは必須の条件ではなく、公的研究機関や産業界との連携をはかり適切にバトンタッチしていくことも考えられる。従来行われてきた、理論やアイデアを論文の形にまとめただけで終わる研究ではないことが重要である。図1に示すように、従来型の理論的研究から論文への流れで終わるのではなく、その後のシミュレーション、小規模実験から論文への流れ、さらには実環境での実験、システムの普及を目指しての研究開発に注力する。また、必ずしも理論的裏付けはなくても経験的に得られている知見からのアイデアも重視し、実用に供するソフトウェアやシステムの構築につなげる。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

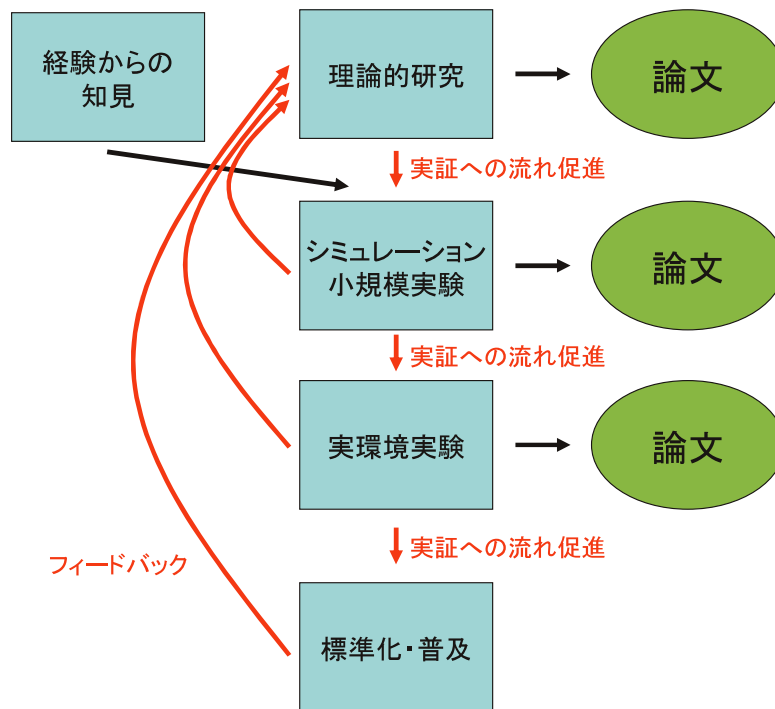


図1 本提案における実証的研究の概念

ネットワーク技術とその研究には、相互接続性、外部性¹といった特殊性がある。そのため研究成果の実証のための大規模な実験環境の構築や、単純な性能向上ではない新しい仕様や機能の提案といった、論文では評価されにくいという研究の特徴がある。新世代ネットワークでは、これらの特徴はより強くなると予想されるので、従来、研究推進上あまり重視されてこなかったこれらの特徴をしっかりと把握し、研究課題に取り組んでいく必要がある。またこれら実証的研究を積極的に評価していかなければならない。

ネットワーク分野における研究者および技術者の人材育成を強化し、研究水準の向上、産業競争力の強化につなげるためには、たとえば、以下の三つの研究課題に対して、実証的なソフトウェアとネットワーク技術の構築を重点において取り組んで研究推進することが有効である。すなわち、

¹外部性 (externality) とは、経済学の用語で、市場を通さない経済活動の他の経済主体に対する影響のことである。ネットワークにおいては、あるサービスの利用が増えると、価格などの経済的価値だけでなく、利用者の数が多いことそのものが価値の増加につながることを示す。そのため、技術的に優れた新しいサービスが登場しても利用者が移行しにくいという特性がある。

従来とは飛躍的に異なる、単なる改良型ではないネットワークの構築という視点での新しいネットワークアーキテクチャの研究が重要な研究課題の一つである。また、ネットワークが社会の重要基盤設備となっている現在、より安心、安全に利用できるようにするネットワークディペンダビリティとネットワーク情報の信頼性という二つの研究課題も、解決しなければならない重要な研究課題である。

また、研究助成機関（funding agency）はこれらの研究課題を研究推進するための課題設定にあたって、従来型の研究成果としての論文だけを期待するのではなく、ソフトウェアやシステムの構築と、その公開や普及までを含めたものにする。期待される成果として、実際の利用に耐えうるシステムの構築や標準化も重視して審査する。また、大学と企業の連携によるより実環境や運用現場に近いところでの技術の開発、検証なども重視すべきである。実用に耐えうる大規模なソフトウェア、システムの構築には長期にわたる取り組みが必要であり、その研究、開発段階に応じて、複数の研究助成機関同士が連携し、切れ目のない研究資金供給を行う。

また、ネットワーク研究では、現実に使われているネットワークで利用した場合の挙動や性能が重要であり、理論の検証、実装されたソフトウェアの有用性、実用性を検証するためにも、ネットワークサービスプロバイダや、学術ネットワークの運用母体などとの連携も必要不可欠であり、企業インターンシップを含めて産官学の連携をはかって、研究推進する必要がある。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

2. 新世代ネットワークの実証的研究推進に投資する意義

本研究推進に投資する意義は2つある。一つは、世界的な新世代ネットワークへの研究取り組みの中での日本の貢献の増大とこの分野での研究力の向上である。その結果として、産業力の強化が期待される。もう一つは、産学官の連携による実証的研究推進を通じた人材育成と研究体制の変革である。その結果として、実証的な人材育成による長期的な産業競争力の強化が期待される。

第一の新世代ネットワークの研究開発への取り組みについては、長期的に新しいネットワークアーキテクチャを探求する取り組みが、米国の新しいネットワーク研究活動の枠組み（GENI, FIND）[GENI] や欧州のFP7 [FP7] における枠組みによって始まっており、日本がこの分野での先進性を示すべき重要な時期にある。しかしながら個々の大学での取り組みでは、GENI/FIND/FP7などの大規模かつ組織的な取り組みに比べて存在感が小さい。そのためにも、新アーキテクチャの研究活動を進めるにあたって、国が支援する必要性がある。本研究分野に関して、より応用に近い研究に関してはファンディングがなされているが、より基礎的な部分や人材育成の部分、継続的な取り組みに関しては十分ではなく、今のままでは優れた人材が長期的には育たないので、長期的視野にたった取り組みで育成していく必要があり、そのためには国の支援が必要不可欠である。

また、ネットワーク研究開発は、相互接続性、標準化が満足されなければ使われないといった特性がある。そのため、単なる技術開発だけでは、それがたとえ優れていても受け入れられるとはかぎらず、その技術をもって優位に立ち幅広く利用されるとはかぎらない。したがって、技術開発を進め、新たなアイデアや技術の提案をするとともに、世界と協調しつつそのソフトウェアやシステムの普及をはかり、標準化も視野にいて新技術の研究を促進しなければならない。そのためには、新アーキテクチャやネットワークディペンダビリティなどの重要技術について自前の技術開発をもって他国との協調活動に臨むことが重要である。

新世代ネットワークに関する研究課題への取り組みにより、新しいアーキテクチャが確立され、その実現により効率的、公平な通信が達成される。また社会基盤であるネットワークの耐障害性が正しく評価できるようになり、ネットワーク設計技術や性能予測が改善される。現在、ネットワーク研究のためのシミュレーション基盤はいくつか研究されているが

([ModelNet], [PlanetLab], [Emulab], [Starbed]), まだまだ不十分であり、技術開発の余地が大きく残されており、世界に先駆けてこの分野の研究を推進する意義は大きい。

第二の実証的研究推進を通じた人材育成と研究体制の変革については、本提案による標準化や幅広い普及もにらんだ実証的研究活動を、新アーキテクチャ、ネットワークディペンダビリティ、ネットワーク情報信頼性の分野において推進することで、理論的研究だけでなく、より実証的な実用に耐えうるシステム、ソフトウェアが技術上の成果として出され、またそのような能力をもった研究者や技術者が育ち、そのような技術や優れた人材の増加が産業競争力の強化につながり社会・経済的效果につながる。

このような研究者、技術者が増えるためには、既存の研究にわずかな変更を加えただけの論文や、理論的な可能性と解析結果を示すだけで実際には応用できない研究にとどまるのではなく、現実に「使える」システム、ソフトウェアを設計、構築できる研究者、技術者が育たなければならない。したがって本提案に示すように、ネットワーク研究の課題に関して、国がファンディングを通じて実証的研究を重視する姿勢を示し、大学等での研究者評価や人事制度のありかたにも影響を与え、長期的に取り組むことに意義がある。

また、サイエンス的な分野へのファンディングとネットワーク分野のような実証レベルのエンジニアリング的要素が大きいユーザと密着した分野へのファンディングのありかたは区別して考えるべきである。サイエンス分野で比較的重視される論文の数よりも、ソフトウェアシステムの構築やプロトコル、アーキテクチャの実証と普及といった論文にしにくい分野にファンディングすることにより、この分野での研究者層や技術者層をより厚くできる。ネットワーク分野の研究では、ある基本的な技術シーズや原理原則が発見され、それが応用や実用化につながるという場合はまれであり、過去の例では、「データ共有」、「安全な通信」、「ネットワーク帯域の有効利用」、「ネットワーク帯域の公平な利用」、「メッセージ交換」といったように、利用者の要求、需要があって、それを実現するために研究が発展したという経過をたどっている。たとえば、TCPに関する研究（[TCP]）では、ネットワーク帯域の有効利用や公平な利用に関してさまざまな試みがなされている。とくに公平さなどは、ある利用者が最高性能を得られるための科学技術的な絶対性能の追求ではなく、ある種の社会的コンセンサスが得られるかどうかという社会ニーズが考慮されなければならない例の

一つである。

ネットワーク産業は拡大を続けており [情報通信白書]、この分野での産業競争力を失い、ネットワーク関連技術の多くを国外に頼ることは、経済面、安全保障面からも問題であり、そうならないためにも、提案するような新ネットワークの研究課題にとりくみ、この分野の研究者、技術者を大学でしっかりと育てていくことが重要である。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークの実証的研究推進に投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

3. 具体的な研究開発課題

次に示すような研究課題を、単なる理論的研究や、細かな改良ではなく、実証的なソフトウェアの構築や方式、機能の提供に重点を置いて推進する。ファンディングの審査や、学会等における実証的な成果に対する研究評価を行うために、研究助成機関や学会などとも連携して研究を推進し、研究者、技術者を育てるようにする。

3. 1 新しいネットワークアーキテクチャ

新しいネットワークアーキテクチャ、機能提供のために、次のような項目について研究開発を進める。

(1) インターネットのふるまい、トラフィックのふるまいに関するモデルや理論の構築

年々変化しつつあるインターネットの利用形態に対して、適切なトラフィックモデルを構築し、ネットワーク設計や理論的な解析を行い、実トラフィックやシミュレーションによる検証を行い、将来のネットワーク利用モデルの基盤とする。現在のインターネットのふるまい、トラフィックのふるまいに関しては、確固としたモデルや理論はなく、いくつか議論されている段階で [Floyd2002]、新しいモデルや理論の構築が必要である。

(2) 現在のインターネットアーキテクチャにとらわれない新しいネットワークアーキテクチャの基礎研究

高密度波長多重等によるネットワーク基盤の高速化など、通信回線の高速化が進み、基幹ルータの負荷が増大し続けている中で、より広い帯域を活かすアーキテクチャ、基幹ルータの負荷低減、パケット交換にこだわらない回線交換の利点を活かしたアーキテクチャなど、新しい方式を探索する。

(3) 大規模、並列、統合型シミュレータの構築とその応用

新しいアーキテクチャ、機能について、大規模な実証実験やシミュレーションによる有効性の検証などが必要である。そのためには、現在使われているアプリケーションや、新しく開発されるアプリケーションを動作させることができ、ネットワークの上位層から下位層まで統合的に、また細粒度から粗粒度までに対応し、解析的なモデルを入れることによる高速化や大規模並列化が可能であるようなシミュレータを構築する。また、シミュレータと実機上で同じアプリケーションが動作するようなものをめざし、

単なる実験基盤、理論的研究の基盤としてだけでなく、現実に必要な迫られているアプリケーションと協調して研究を進める。数百万ノードのシミュレーションが可能な、新しい機能を柔軟に付加でき、高度な並列処理が可能なソフトウェアシステムを開発する。

3. 2 ネットワークディペンダビリティ

社会基盤として浸透しているインターネットが、さまざまな障害時にできるだけその機能を維持することは、社会的要請であり、そのために次のような項目について研究開発を進める。

(1) 大規模災害、故障、故意の攻撃を考慮した信頼性の高いネットワークの構築手法とその評価手法の研究

社会基盤として浸透しているインターネットが、大規模災害をはじめとするさまざまな災害や、故意による攻撃、故障等に対して、できるだけその機能を維持できる仕組みを構築し、それと同時にその方式を定量的に評価する手法を開発する。ネットワークのディペンダビリティの維持とその評価は、単独の電気通信事業者による単一の電話サービスの提供のような場合とは異なり、複数の事業者や、予期しないアプリケーションの出現、ソフトウェアの出現といった不確定な要因も含めて、それらを評価する仕組み、対処する方策などを開発する。

(2) 省エネルギーに留意したネットワークアーキテクチャ

省エネルギーという視点でアーキテクチャ、プロトコルレベルまで踏み込み、電力供給に制約のある場所での利用や、緊急時における省エネルギー動作を可能にする方式を研究開発する。

3. 3 ネットワーク情報信頼性

増加し続けるネットワーク上で扱われる情報の信頼性を評価、確保するために次のような項目について研究開発を進める。

(1) ネットワーク情報の信頼性に関する研究

ネットワーク上で扱われる情報の信頼性を確保するためのトレーサビリティや完全性の確保などを含む課題を抽出、整理し、それを解決するための技術開発に取り組む。また、どの程度の信頼性が確保されているかについての評価手法の確立を課題とし、開発された技術がきちんと評価できるような仕組みを構築する。さらに匿名性に関する技術についても検討し、技術開発に取り組む。

(2) 情報の信頼性にかかわる法制度面での取り組み

情報の信頼性に関して、匿名制度や情報発信元の開示と通信の秘密にかかわる事項などを含む法制度にかかわる面についても提案、評価を行い、技術課題の解決とともに、統合的な解決方法を提案、開発する。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

4. 研究開発の推進方法

3章で示したいずれの課題についても、単なる理論的研究や、箱庭の実装に留まり、些細な改良等だけで論文にするのではなく、実証的なソフトウェアの構築や方式、機能の提供、つまり現実に使えるようなソフトウェアの実装を伴って成果を実証することに重点を置いてファンディングの審査を行い、研究を推進する。次に、各課題とともに、実証的な研究推進方法を示す。

(1) 新しいネットワークアーキテクチャ

大規模ソフトウェアシミュレータの構築と、ソフトウェアの継続的な管理維持には、リリースエンジニアリングの知識、経験なども必要である。そのような専門家が重要なことに留意し、人材育成を含めて研究者、技術者を集成し、研究推進する。また、他の課題にとりくむ研究者と協調し、構築したシミュレータシステムの有効性、実用性を検証するとともに、その改良を継続的に行う。

アーキテクチャに関して、新しいトラフィックモデルなどの構築とともに、さまざまな可能性を検討し、理論的裏づけだけでなく、本研究課題で実現する大規模シミュレータでの検証や、実証環境での検証を行い、必要に応じてその結果をフィードバックし、改良を重ねる。

(2) ネットワークディペンダビリティ

過去および今後予想される災害や障害に対して、それに応じた対策について、評価システムを構築し、大規模シミュレータでの検証や、実ネットワーク環境での実証実験などによりシステムの有効性を示す。また、過去の大規模なネットワーク障害についても検討を加え、本研究の推進に活かす。さらに、大学等の実運用ネットワークへの適用など実証環境での実験の可能性を探り、より現実的な実験が行えるよう研究を進める。

(3) ネットワーク情報信頼性

ネットワーク上での情報流通に関して、さまざまなモデルを検討し、その信頼性や認証のありかたについて検討する。また逆に、匿名性についても検討を加え、IPアドレスをも含めた匿名性の実現や、その公開基準などの制度面などを含めて研究を進める。

また、このような実証的な研究が評価されるように、学会などとも連携して、単なる論文ではなく、システム、アプリケーション、ソフトウェア

の構築など実証的成果や技術発表をより重視するような仕組みを作り、実証的ネットワーク研究が評価されるようにし、そういった研究が大学内でも評価されるようにし、大学内での人事評価システムなどに反映され、単なる理論的研究にとどまらない研究者、技術者を育てるようにする。初期のネットワーク研究に大きな役割を果たした University of California, Berkeley (コラム参照) など、大学での基盤ソフトウェアが実用レベルで開発された例は、高く評価されており、この種の研究が日本でも数多く出てくることが望まれ、その推進のためには、基盤ソフトウェアや実用レベルのソフトウェアの開発が大学内で正しく評価されるようにならなければならない。

ネットワーク研究においては、相互接続性、標準化が重要であり、研究成果の利活用のために、実践的、実証的価値の創造を重視し、UCBの例に見られるように、ソフトウェアの実装と配布とその普及も念頭において研究を推進する。さらに、産学連携や横断的プロジェクトも重視し、あるプロジェクトで作成されたソフトウェアを他のプロジェクトで利用しての推進も実施する。たとえば、大規模並列統合型シミュレータ上で新たなアプリケーションの実証、動作検証を行い、実際の実験結果と比較検証する。

企業との連携については、実践的な能力をもった学生(とくに大学院生)が育つよう進める、インターンシップなどによりネットワーク技術の開発現場を体験させ、また社会人ドクターなどの推進により、交流をはかり、大学での実学の実践を行う。ネットワークの運用、大規模アプリケーション、サーバソフトウェアの実証実験のための仕組みも導入する。現実に使われているネットワークで利用した場合の挙動や性能の評価に関して、ネットワークサービスプロバイダや、学術ネットワークの運用母体と連携し、企業インターンシップを含めて産官学で研究推進を実施する。

コラム : University of California, Berkeley (UCB) での例

現在のインターネットの発展に大きく寄与したソフトウェアとして、UCBのCSRG (Computer Systems Research Group) の開発したBSD (Berkeley Software Distribution) がある。このソフトウェアが現在広く使われているTCP/IPプロトコルの参照実装として広く使われ、多くの機器、装置に組み込まれ、ネットワークの利用が可能となった。

5. 科学技術上の効果

次に示すような新世代ネットワークアーキテクチャや、社会基盤としてのネットワークを支えるディペンダビリティなどの重要技術が開発される。

(1) 新しいネットワークアーキテクチャの研究

高密度波長多重方式 (DWDM) による光ファイバネットワークの超高速化、家庭を含む社会へのブロードバンドの普及、無線端末を含むユビキタスネットワーク基盤の浸透など、社会基盤が充実しつつある。この環境をさらに発展させるような新しいネットワークアーキテクチャの研究開発により、さらなる利便性、新しい利用モデルやアプリケーションの登場が期待できる。

具体的には、従来主流の転送プロトコルであるTCPに代わる広帯域を有効利用できる転送プロトコルの開発やTCPそのものの改良が出てくると期待できる。また、パケット交換を基盤とするインターネット技術への回線交換技術の応用や適用などの新型アーキテクチャの開発、無線端末、センサーネットワーク、移動端末間のネットワークとして有効なDelay Tolerant Network (DTN) を実現するための通信方式の実現などの成果が期待できる。Network Tomographyに関する新たな技術が確立されることにより、シミュレーションや動作分析に新たな知見が加わり、より現実に即した解析、評価ができるようになる。

(2) ネットワークディペンダビリティに関する研究

信頼性のあるネットワーク設計、評価という視点で、大規模シミュレーションによる評価・検証や、実運用ネットワークでの評価・検証など従来にはなかった技術が実現される。また、現在まで、より高速にという視点でさまざまな制御方式やソフトウェアが研究開発されてきたが、中継ノードや末端ノードにおける電力消費低減に着目したプロトコル・アーキテクチャに踏み込んだものはまだ少なく、それらに関する新しい技術成果が創出される。これらの技術は、災害時のノード運用継続の重要な要素のひとつにもなる。

(3) ネットワーク情報信頼性に関する研究

ネットワーク上を流れるさまざまな情報に対して、その情報の信頼性を評価し、確保する技術や、情報の発信元の特定、保証、匿名化技術などが実現される。これらの技術は現在不足している社会ニーズを満たすものとなる。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークへの投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

6. 社会・経済的效果

(1) 人材育成と産業競争力強化

従来の研究開発推進よりも実証的な実際のソフトウェアの普及をめざした開発を行うことにより、実証的なネットワーク研究者や技術者が育ち、長期的な産業競争力の強化につながる人材が育成される。たとえば、電子回路設計などの分野では、実際の集積回路の製作などまで含めた研究開発が大学で行われているが、ネットワーク分野の場合、実用ネットワークにおける実証実験は、まだまだ少ないのが現状である。本研究課題の推進によって、そのような実証的な研究開発を行う人材が増え、将来的に製品開発における技術力強化や生産性向上に寄与し、産業競争力強化につながる。また、新しいネットワークアーキテクチャの研究は、国際的なネットワーク新技術開発において標準化などに貢献できる。

(2) 社会基盤システムの維持

ネットワークのディペンダビリティを評価する技術により、ネットワーク障害の評価ができるようになり、経済的な得失がよりよく評価できるようになる。それによって重要度に応じた社会基盤の維持のための投資が判断できるようになる。また、省エネルギーに留意したネットワークアーキテクチャによる災害、停電時におけるネットワークシステムの動作延命などは、社会基盤の維持にとって重要であり、その効果は大きい。

(3) 安全で安心できるネットワーク利用

ネットワーク上を流れてくる情報の発信源や、自己の流した情報をトレースする機能により、ネットワーク利用者の安心度の向上という社会ニーズが充足される。また、ASPに情報が集中した場合の情報のセキュリティなどに関して、利用者が安心して安定に利用できる基盤が確立され、利用が促進される。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会・経済的效果

7 考察軸に関する

8 検討の経緯

9 国内外の状況

7. 時間軸に関する考察

インターネット技術の芽が出始めたのが1970年代初頭、電子メールが普及し始め、WEB等のアプリケーションが使われ始めたのが1990年代、アドレス枯渇やプロトコルの制限を克服するための新しいプロトコルIPv6の策定、開発が始まったのが1992年頃である。

次世代プロトコルとして研究開発の始まったIPv6は20年近くたった現在もまだ移行途中であり、幅広く実用に供することの困難性を示している。このようにネットワーク技術の研究開発は、実験室レベルでの開発と幅広い実用化までの期間は大幅に異なる。したがって、研究開発から実用化までを見据えた取り組みは段階を経た計画が必要である。本提案による新アーキテクチャによるネットワークに関しても、その導入における移行技術も含めて課題に取り組まなければならない。

IPv6への移行が本格化し、ブロードバンド環境が一般家庭に普及し、携帯端末の普及やRFIDタグなどの導入によるモバイル、ユビキタス環境が整備されつつある現在は、次を狙ったネットワーク研究に注力するのに適した時期といえる。また、米国のGENI/FIND、欧州のFP7など、国際的にも新世代の新しいアーキテクチャをもったネットワークの研究開発が進められようとしており、日本での研究開発が遅れをとってはいけない時期であり、この分野での研究に早急に着手すべきである。

研究開発の期間は、新しいアーキテクチャに関するものは、5年くらいの中期的な視点で考える必要がある。また、人材育成の点では、大学学部での教育研究から博士課程、博士号取得までを考慮すると、実証的な研究課題へのとりくみが定着するためには5年から10年といった期間が必要である。また、システム構築とその普及、標準化という視点から、細かな中間評価を数回にわたり実施し、中長期的に取り組む施策が必要であり、開発段階に応じて複数の研究助成機関同士の連携による切れ目のない研究資金供給の方策も考慮する必要がある。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進とは

2 新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的效果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

8. 検討の経緯

8. 1 検討の開始

2005年9月に開催された当センターの「電子情報通信系俯瞰ワークショップII」において、「ディペンダビリティ」が今後の電子情報通信分野のあるべき方向性を示すキーワードとして取り上げられ、これをテーマにし、「ディペンダブルVLSI」や「情報システムのディペンダビリティ評価」などの一連のワークショップとその後の戦略プロポーザルの提言が行われている。その一貫として「ディペンダブルネットワーク」をキーワードとして戦略分野の検討を開始した。

ワークショップ開催のための検討会を2006年11月から2007年5月にかけて6回行った。三木哲也電気通信大学情報通信工学科教授（特任フェロー）、市川晴久NTT先端技術総合研究所所長（現在、電気通信大学人間コミュニケーション学科教授）、阪田史郎千葉大学工学部情報画像工学科教授、斎藤孝文NTTソフトウェア株式会社営業推進本部コーポレートコミュニケーション推進部門理事部門長の4氏に参加いただき、ワークショップで議論すべき内容について検討した。

この検討会での結果を受け、ワークショップで議論すべき論点を当センター内で次のように整理した。まず、インターネット時代において出遅れた原因として考えられるネットワーク研究の特殊性について検討する。次に、ネットワーク研究のような実証的研究分野における大学での研究体制について検討する。さらに、実証的ネットワーク研究を推進するために適した研究課題をディペンダブルネットワークにこだわらずに抽出する。

8. 2 分科会の実施

これらの論点に関して、ワークショップでの議論を有効かつ、効率的に進めるために、3つの分科会を構成し、事前に会合をもち、「ネットワーク研究の特殊性」、「推進すべき研究課題」、「大学での研究体制」の三つに関してそれぞれの分科会で提言をまとめてもらい、ワークショップの冒頭で報告するという構成にした。

分科会Aは山名早人早稲田大学理工学術院教授にリーダーとして、アプリケーション分野、ISPの研究者、技術者を中心に議論をしていただいた。分科会Bは浅見徹東京大学大学院情報理工学系研究科教授にリーダーとして、ネットワークインフラの研究者、技術者を中心に議論をしていただいた。分科会Cは並木淳治東海大学情報理工学部教授にリーダーとして、ネットワーク機器の研究者、技術者を中心に議論をしていただいた。

1 新世代ネットワークの実証的研究推進

2 新世代ネットワークへの投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

8. 3 ワークショップの成果

ワークショップは2007年10月26日、27日に開催した。大学、公的研究所、企業、インターネットサービスプロバイダなどから、ネットワークサービス、アプリケーション関連の研究者、技術者6名、ネットワーク基盤技術の研究者、技術者6名、ネットワーク機器の研究者、技術者5名など、合計で32名の幅広い関連分野からの参加があり、次のような結論を得、報告書にまとめた。[CRDS-FY2007-WR-14]

(a) ネットワーク研究の特殊性

- 著作権の扱い、プライバシー保護などの規制、制約がある
- 研究成果に説得性をもたせるための大規模な実証実験環境が必要である
- 性能ではなく機能、仕様が研究対象であり、論文化しにくい
- 相互接続性、標準化、外部性といった特性により新しい技術の採用はハードルが高い

(b) 推進すべき研究課題

- 統合的ネットワークシミュレータ
- ネットワーク上を流れる情報のトレーサビリティ
- プライバシー・セキュリティ確保
- 大規模実験環境
- 省エネルギー、グリーンネットワーク
- サステナブルネットワーク

(c) 研究推進上問題となっており、解決しなければならない大学での研究体制のありかた

- 大学での実証的研究環境の確保とテーマ選定から研究、開発、成果のフィードバックまでのプロセスの明確化
- ネットワークオペレーションに対する学術的な分析と解決策の提示
- 単なる論文重視の評価ではない、実証的ネットワーク研究を評価できるような大学での研究評価のありかた

9. 国内外の状況

9.1 国内の動向

セキュアネットワーク、トラステッドネットワーク、ユビキタスネットワーク、ディペンダブルネットワークなどに関する研究は、日本国内では独立行政法人情報通信研究機構の研究会で次世代ネットワーク、新世代ネットワークに関する研究としての提言がすでに行われている[情報通信研究機構]。これを受け、情報通信研究機構では、新世代ネットワークに関するプロジェクトがスタートしており、関連する以下の研究課題が設定されている。

(1) ダイナミックネットワーク技術の研究開発

- －スケラブルネットワーク構造最適化に関する技術
- －実時間ストリーミング指向の制御に関する技術
- －利用者・アプリケーション指向の制御に関する技術
- －大規模資源の管理・制御に関する技術
- －異種ネットワーク連携に関する技術
- －ネットワーク品質の適応型制御、及び耐障害に関する技術
- －オーバーレイネットワークのセキュリティに関する技術
- －サービスプラットフォームの構築に関する技術

(2) 新世代ネットワークの構成に関する設計・評価手法の研究開発

- －新世代ネットワークアーキテクチャのコアとなる技術アイデアの検討
- －新世代ネットワークの新たな基盤技術または新たなネットワーク評価手法等の具体的な設計
- －新世代ネットワークの新たな基盤技術または新たなネットワーク評価手法等の設計案における有用性の検討

また、ICT人材育成に関連した動向としては、下記のような取り組みがある。

(1) 文部科学省先導的ITスペシャリスト育成推進プログラム：

高度なソフトウェア技術者の育成機能の強化を目的とし、国公私立の大学院に拠点形成し、教育研究機能充実を図る人材育成プロジェクト。平成18年度から4年間（年6億円程度）

(http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/18/09/06092715/001.htm)

(2) 経済産業省/IPAの未踏ソフトウェア創造事業によるソフトウェア技術者発掘育成

平成12年度から行われている、個人又は数名のグループを対象とした、独創的なソフトウェア技術や事業アイデアを公募しその開発を支援する制度。(http://www.ipa.go.jp/jinzai/esp/)

(3) 総務省高度ICT人材育成に関する研究会 (平成19年9月から)

ICT国際競争力懇談会「最終とりまとめ」を受けた「ICT国際競争力強化プログラム」においてうたわれている高度ICT人材育成機関の在り方などのICT人材育成について検討している研究会

(http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/ict_ikusei/index.html)

9.2 米国の動向

米国では、新世代ネットワークに関する研究開発プロジェクトとしては、NSFがファンドしているFIND (Future Internet Design) とGENI (Global Environment for Network Innovations) の取り組みがある。[GENI]

FINDでは、インターネットの次を検討するにあたり、まったくゼロから新しいものを生み出すアプローチをとっており、これまでの延長線上ではないものを目指している。

FINDプロジェクトの課題には、下記のようなものがある。

- creating new core functionality;
- design for security;
- design for manageability;
- design for utility and social needs;
- design for real-time and uninterruptible services;
- architectural implications of new technology in the optical, wireless, sensor network and embedded computing spaces;
- creating higher-level service architectures;
- holistic network design; and,
- theory of network architecture.

GENIはNSFが計画中のインターネットの次を目指した実験ネットワークである。インターネットはすでにインフラとして定着しているため、新しい技術をためすための大規模な実験ネットワークが必要となってきた。

FINDで開発した技術要素を試すテストベッドの役割をになう。

9. 3 欧州の状況

第7次欧州枠組みプログラム（FP7）の研究プログラムの中でもICTは重要項目として位置付けられている。特にネットワーク関連の研究開発プロジェクトとしては、FP7の中に、下記のプロジェクトがある。[FP7]

Pervasive and Trusted Network and Service Infrastructures

- The Network of the Future
- Service and Software Architectures, Infrastructures and Engineering
- ICT in support of the networked enterprise
- Secure, dependable and trusted Infrastructures
- Networked Media
- New Paradigms and Experimental Facilities
- Critical Infrastructure Protection

1 新世代ネットワークの実証的研究推進

2 この新世代ネットワークに投資する意義

3 具体的な研究開発課題

4 研究開発の推進方法

5 科学技術上の効果

6 社会経済的効果

7 時間軸に関する考察

8 検討の経緯

9 国内外の状況

参考文献

[情報通信白書]

情報通信白書平成19年版

総務省、平成19年7月

<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h19/summary/summary01.pdf>

[情報通信研究機構]

(独)情報通信研究機構 次世代ネットワークアーキテクチャ検討会
報告書

2006年11月

http://www2.nict.go.jp/p/p461/report/0611_NGN-kentoukai.pdf

[CRDS-FY2007-WR-14]

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

ディペンダブルネットワーク

2008年3月 科学技術振興機構研究開発戦略センター 生駒グループ

CRDS-FY2007-WR-14

[Floyd2002]

Internet Research Needs Better Models, Sally Floyd and Eddie Kohler,
Proceedings of Hotnets-I, October 2002

[GENI]

GENI (Global Environment for Network Innovations)

<http://www.nsf.gov/cise/cns/geni/>

[FP7]

CORDIS ICT Programme Pervasive and Trusted Network and Service
Infrastructures

http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/challenge1_en.html

[ModelNet]

ModelNet, <http://modelnet.ucsd.edu/>

Scalability and Accuracy in a Large-Scale Network Emulator, Amin

Vahdat et al,
Proceedings of 5th Symposium on Operating Systems Design and
Implementation, December 2002

[PlanetLab]
PlanetLab, <http://www.planet-lab.org/>

[Emulab]
Emulab, <http://www.emulab.net/>
An Integrated Experimental Environment for Distributed Systems and
Networks,
Brian White, Jay Lepreau, Leigh Stoller, Robert Ricci, Shashi
Guruprasad, Mac Newbold, Mike Hibler, Chad Barb and Abhijeet
Joglekar,
Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design
and Implementation, December 2002

[Starbed]
Starbed, <http://www.starbed.org/>
Realistic Simulation of Internet, Toshiyuki Miyachi, Junya Nakata,
Razvan Beuran, Ken-ichi Chinen, Kenji Masui, Satoshi Uda, Yasuo Tan
and Yoichi Shinoda,
Proceedings of ASC 2006,, October. 2006

[TCP]
Equation-Based Congestion Control for Unicast Applications, Sally
Floyd, Mark Handley, Jitendra Padhye, Joerg Widmer, Proceedings of
SIGCOMM 2000, August 2000
Congestion Avoidance and Control. Van Jacobson, Proceedings of
ACM SIGCOMM '88. August 1988

専門用語説明

高密度波長多重方式 (DWDM)

1本の光ファイバ中に近接した複数の波長の光を通して、複数の通信路を利用できるようにし、光ファイバの実質的な利用効率をあげる波長多重方式 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) において、使用する波長の数を大幅に増やした方式

リリースエンジニアリング (Release Engineering)

ソフトウェア工学の用語。あるソフトウェアパッケージについて、ソースコードのコンパイル、アセンブル、および配布物を一貫性のある最終的な製品やソフトウェア部品にして、出荷、配布、公開可能にする一連の作業およびそれに必要な品質管理などの技術

Application Service Provider (ASP)

ISP (Internet Service Provider) がネットワークへの接続性を提供するのに対し、アプリケーションサービスプロバイダ (ASP) は、顧客に対して業務ソフトウェアなどのアプリケーションやさまざまなシステムサービスをネットワークを介して提供し、その対価を得る事業者のことである。

Delay Tolerant Network (DTN)

アドホックネットワークや、移動体通信など、通信路が安定しないネットワークや、ある瞬間において、始点終点間の通信路が確保されていないネットワークなど、遅延が極端に大きくなる環境においても始点終点間の通信ができるように設計されたネットワーク

Internet Protocol Version 6 (IPv6)

インターネットで使われる基盤プロトコル。現在はIPv4と呼ばれるネットワークノードの指定に32ビットのアドレスが使用できるプロトコルが使われているが、インターネットの拡大によりアドレスが不足しつつあるため、128ビットのアドレスが使用できるIPv6規格が策定され、その利用、移行が進んでいる。

Network Tomography (ネットワークトモグラフィ)

Tomographyの元々の意味は、医療分野の画像診断技術であるCT (Computer Tomography) のように、計測対象のまわりに検出器と

線源を配置して対象内部の画像を再構成する技術。これと同様に、ネットワークにおいて、直接計測が困難な対象を、別の計測データから統計的手法そのほかを用いて、再構成しようとする技術。たとえば、あるネットワークリンクを流れる複数の通信の総和の計測から個別の通信の特性を推定する試みや、末端ノード間での計測からネットワーク経路上の特性を推定する試みなどがある。

RFID (Radio Frequency Identification)

タグ (RFIDタグ) を対象物に取り付け、RFIDリーダーと呼ばれる装置との間で無線通信を行って物を識別する技術。工場等での在庫管理、輸送運送などの物流管理、センサーネットワークや物品管理など、多方面での利用による省コスト化、高機能化の応用が期待されている。

TCP (Transmission Control Protocol)

インターネットで使われている主要なデータ転送プロトコル。順序番号とチェックサムを含んだデータ転送単位を用い、確認応答と再転送機構によって転送を保証する通信を実装している。

戦略プログラム

新世代ネットワークの実証的研究推進
—社会への実装をめざしたネットワーク研究の提言—

CRDS-FY2008-SP-02

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

平成20年6月

電子情報通信ユニット

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7484

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp>

平成20年6月

©2008 JST/CRDS

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

CT CTCGCC AATTAATA

TAA TAATC

TTGCAATTGGA CCCC

AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC

ATAAGA CTCTAACT CTCGCC

AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT

CTCGCC AATTAATA

ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

CTCGCC AATTAATA

TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

ATTAATC A AAGA CCT

GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000

00 11 001010 1

0011 1110 000

0100 11100 11100 101010000111

001100 110010

0001 0011 11110 000101

