

WIDE プロジェクト
2022年度 研究報告書

2023年3月

WIDE プロジェクト
代表： 江崎 浩

はじめに

2023年は、インターネットに関するいくつかの重要な世界会議が日本で開催されることになっています。3月には横浜でWIDEプロジェクトがホスト役として関係するスポンサー組織のみなさんと4回目の日本での開催となります第116回のIETF (Internet Engineering Task Force) 会合、6月には広島でG7、9月には京都でAPNIC Meeting、さらに10月には京都でIGF (Internet Governance Forum) が開催されることになっています。特に、インターネットの技術標準を議論・策定するIETF会合は、コロナ禍以降で初めてのアジアでの開催であり、多くの海外からの参加者が期待されています。また、IGFの日本での開催は初めてであり、日本から世界へのメッセージを打ち出す絶好の機会でございますし、インターネットの存在・利用を前提とした社会・経済活動をグローバルに政府を含むマルチステークホルダの環境で活性化・進化させるための議論を国内外に発信する機会となることを期待しています。IGF2023を迎え、さらに、2023年以降の日本におけるIGF関連の活動を起動・発展・進化させることをミッションとした、日本IGFタスクフォース <https://igf2023taskforce.jp/> を2022年11月22日に発足させました。日本IGFタスクフォースの会長はWIDEプロジェクトファウンダーの慶應義塾大学 村井純、副会長にはJPNICの理事でもあるWIDEプロジェクト代表の江崎が就任、インターネットに関係するインターネット協会 (IA Japan)、日本インターネットプロバイダー協会 (JAPIA)、日本ネットワークインフォメーションセンター (JPNIC)、そしてIGF2023に向けた国内IGF活動活性化チームが発起人組織となりました。本タスクフォースは、WIDEプロジェクトのボードメンバーである小林茉莉子の活躍もあって、無事発足するに至りました。WIDEプロジェクトとしては、これまで活動していたインターネットガバナンスの領域ではありますが、日本としての活性化は、WIDEプロジェクトとして新しい活動領域の開拓となります。皆様の積極的なご参画・ご貢献を期待させていただいております。

2022年は、ロシアのウクライナ侵攻によって、これまで潜在化してなかなか見えにくかった多くの問題が、顕在化した年だったと思います。これらの問題の多くは、コロナ禍の発生によって認識されたものが少なくなかったと考えますが、ロシアのウクライナ侵攻は、さらに多くのかつ深刻な課題・問題を潜在化させました。2020年に世界中で急拡大したコロナ禍は、インターネットの重要性をすべての人達が認識し、新しい時代のデジタルインフラを構築しなければいけないことを理解させるとともに、社会のいろいろな面での分断が進行していたことを認識させました。我々は、この日本国内に閉じない地球の課題・問題を、世界の人達と協力して解決していかなければなりません。議論しなければならぬ空間は、地上だけではなく、いよいよ海洋や宇宙を含む、まさに地球という空間であり、インターネットが展開する国境も存在しない空間です。我々は、この新しい問題・課題を、インターネットの基本遺伝子である、「マルチステークホルダ」間での「自律分散協調」によって解決し、持続的成長と発展・進化を可能にする社会を創り出さなければならないのではないのでしょうか。

2020年9月にはデジタル庁が起動、デジタル庁の発足には、ファウンダーの村井純教授をはじめとして、多くのWIDEプロジェクトの関係者が、その設計と実装に深く関与しました。日本の政府と自治体さらに、全産業

のデジタル化を先導・牽引するコアの組織としての役割を果たさなければなりません。デジタル庁の役割は、これまでの、デジタル化の次の段階であるオンライン化・ネット化によるすべてのシステムのデジタルによる相互接続環境の実現・実装です。これは、2000年頃のe-Japan構想での日本中のコンピュータをブロードバンドのインターネットに接続する環境の整備の実装です。2000年頃には、WIDEプロジェクトでは、IPv6の役割は、全産業の相互接続と全デジタルデバイスのIP化と相互接続環境の実現と認識し、IoT (Internet of Things) の実現に関する研究開発活動に着手していました。これが、まさに、第5期総合科学技術基本計画の方向性よして打ち出された「Society5.0」であり、小僧も委員として参画させて頂きました第6期 科学技術・イノベーション基本計画では、第5期の科学技術基本計画の総括として、選択と集中、コロナ禍で明確となったSociety 5.0が実際には実装されていなかったことを確認・認識、「多様性の尊重」と「Society 5.0の“実”実装」を大きな方向性として打ち出しました。さらに、社会イノベーションの実装・実現には、科学技術だけではなく、文系の知見を取り込んだ「総合知」が必須であるとの認識のもと、分離融合の重要性が認識され、科学技術に関する研究開発に文系の力が必要であるとの認識がされました。まさに、WIDEプロジェクトの活動方針である、新しい技術を用いた社会のイノベーションであり、そのためには、マルチステークホルダ環境での議論と実装が必要であるとの方針と合致するものであると考えます。さらに、デジタルネットワーク環境を評価するのは、エンドユーザであり社会である。これは、WIDEプロジェクト起動時からのミッションであったと認識しています。

コロナ禍によるパンデミックは、社会の政治・経済・社会行動を大変革させつつあります。社会のデジタル化、そしてインターネット技術を用いた各組織の個別システムのオンライン化とその国境を越えたグローバルなネットワーク化、すなわち「オンライン社会の存在を前提にしたサイバー・ファーストの社会産業インフラ」への進化が加速されています。地球上のすべての人、すべての産業、そして、すべてのデジタル機器を、“透明に (Transparent)”に相互接続させることで、これまで存在していない創造的なサービスを創生・実現するビジョンです。WIDEプロジェクトでは、すでに、IoTの世界観が、仮想マシンの登場と普及によって、IoTの段階からIoF(Internet of Function)の段階に進化し、IoFの世界を実現するための研究開発にも着手していました。サービスとハードウェアのアンバンドルであり、Un-Wire-ingされたグローバルシステムへの進化です。

コロナ禍は、差別と格差の拡大など、コロナ禍が発生する前の社会が抱えていた問題を拡大・顕在化させたとともに、自然の力の前には人間・人類の力は儂いものであることなどが認識されることとなり、持続的な発展、すなわち、SDGs (Sustainable Development Goals)の重要性が強く認識されることになりました。SDGsの実現にあたってはインターネットのアーキテクチャを活用・覚醒させなければならないと考えます。「コンパクト&ネットワーク」と、環境省による「地域循環共生圏」の考え方は、各地域にコンパクトでSDGsを実現する都市・街を創り、それをネットワーク化するという、自律分散型ネットワークの創成であり、デジタル田園都市構想にもつながるものです。自然災害などによる非常事態への対応能力とリスク管理能力を持ちつつ、グローバルなネットワークキングが可能な都市づくり・街づくりを目指すというものです。

また、第6期総合科学技術・イノベーション基本戦略とデジタル庁の基本計画では、インターネットが社会に広く普及し、さまざまなインターネットを前提としたサービスが展開されている中、「トラスト(Trust)」品質の

向上が重要課題として、認識されました。トラストの形成に関しては、内閣官房 デジタル市場競争本部に設置された「Trusted We推進協議会」においてTrusted Webに関する検討が展開され、ボードメンバーの鈴木茂哉、浅井大史、村井純(ファウンダー)が大きな貢献をしました。グローバルな研究開発ネットワークを自身で設計・実装・構築・運用するという知見と経験を産みだし創生する環境の維持と発展の重要性を改めて強く確認し、メンバー組織のみなさんと共有しているWIDEプロジェクトの責任を再認識しなければならないのではないのでしょうか。

WIDEプロジェクトは、メンバー組織の皆様との産学連携コンソーシアムとして運用されています。企業における「目的基礎研究」でもなく、独創性・独自性を要求する「純粋基礎研究」でもない、「実践的基礎・応用研究」の環境を提供することで、従来の研究組織にない成果を創出してきました。さらに、常に、「グローバル」な視点で、システム全体と個別システムを捉える。これは、WIDEプロジェクト特有のプロジェクト統治モデルであり、「遺伝子」であり、今後もこの「遺伝子」を維持・発展、そして進化させなければならないと考えていますし、さらに社会に貢献する責任がますます増していると考えています。

これまでのWIDEプロジェクトの活動にご参画ならびにご支援いただきましたすべての皆様方、組織の方々に感謝と敬意を表しますとともに、ますますのご参画・ご協力・ご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。2022年9月のWIDEプロジェクト合宿から、コロナ禍によるオンラインでの開催ではなく、対面で合宿開催となりました。皆様方との協力・連携を礎として、コロナ禍後の新しいグローバルなデジタル社会インフラの実現に向けた協調活動の拡大を皆様と推進できることを期待しております。

2023年3月

代表
江崎 浩

ごあいさつ

WIDEプロジェクト 2022年度

—新たな戦争とグローバルパンデミックを経験した年に—

WIDEプロジェクトがその創設から取り組んでいた研究課題は、極めて多くの結果が現在のデジタル社会の要素として開花し、転化されている。「研究開発」と「社会への貢献」。従来、論文と標準化がこの二つを繋ぎ、前者を大学や研究機関が、後者を企業が担っていた。社会からのダイレクトなフィードバックを研究開発に循環させ、持続的な研究開発を続けるモデルこそが、WIDEプロジェクト創設のデザインであった。当初から沢山の大学や研究機関と企業のエンジニアが参加し、共に研究開発を行い、研究開発者自らによる社会提供とその評価を経験し、次の研究開発へと続ける。

このようなWIDEのスタイルのもう一つの鍵は、大学や研究機関の研究者はもちろん、企業の研究者の研究の萌芽に制限がかかっていないことにある。特に企業の研究者は企業内の研究部門では、ビジネスへの貢献が多かれ少なかれ問われる時代に突入し続けている。WIDEの役割はその意味では企業内研究の利益貢献を強く問われる現在だからこそ大きいことになる。グローバルパンデミックを経験し、まさかの戦争を目の当たりにした2022年に、科学や技術に携わる者が、そして、地球を一つに繋いだインターネットの未来開発とその運用に携わるWIDEプロジェクトが、国際社会の風潮に流されずしっかり未来を追求する、このような視点で、これまでのWIDEの研究が現在にどのようにつながっているかを考え、これからの研究の出発点としたい。

1. モビリティ

WIDEがインターネットに自動車を接続するプロジェクト(iCAR)はやがて人がコンピュータを纏い、インターネットにつながるモデルを考えたからである。鉄のボディをもった人とともに動く車なら、コンピュータを配置し、インターネットにつながることができる。このモデルは突拍子もない考えだが、現在ではモビリティ技術とスマホと人の関係の先駆けとしての成果をあげた。

iCARを始めたときに測位衛星による位置の精度への挑戦が盛り上がったことがある。衛星からの三角測定での地表位置の精度と、正確な定点定置の情報との組み合わせのDifferential GPSを用いた考え方は、移動するノードの自律的な位置情報技術はどのようなインフラに依存するのかという議論を呼んだ。もし、100%の移動を、つまり、国土カバー率100%を実現するとすれば、インフラでの投資は100%の地表カバー率が必要となる。それを代替える方法はないのか？ WIDEではこの追及が始まった。Wi-Fiが普及すれば、Wi-Fiの持つBSSIDのような識別子を記憶しておけば、モバイルデバイスがGPSや基地局から類推できる位置を計算できるというような考え方もWIDEのグループとして取り組んでいた技術だ。国土交通省が主導する詳細な地表の3次元地図のプロジェクト(Project PLATEAU)も進んでいる。車椅子やベビーカー、そして、ドローン時代を支える

新しい移動のための基礎技術の開発が進んでいる。自律分散処理が可能なデバイスとセンサーが多様化し、人とセンサーのモビリティが適切なデータ処理とともに形成されてこそ大規模広域分散環境のWIDEの理想に一歩でも近づくことになる。

2. 人とともに移動しないインターネットノード

そもそもインターネット自体の識別子には地理的位置の概念は(ほとんど)存在しないはずだ。IPアドレスは正しい経路制御ができるかぎりどこに何がついていても良い。あるのはネットワークセグメントとして認識されるIPアドレスブロックによる全体のトポロジマップであって、地理的な位置や、ましてや、国境などとは無関係なインターネット上の位置が正しく認識されることのほうがIPには重要である。「あなたの地域ではこの映像はご覧になれません」と表示される映像がどんどん増えているのは、おおかた、ホテルなどが契約しているISPサービスのアドレスブロックがWHOISデータベースを見ると海外の会社だったりしているからではないかと類推するが、あまりに技術とサービス営業が分断されていて嘆かわしい。

一方、RFIDなどからその用語が生まれたと言われるIoTは、元はモノを管理したいというアナロジーから生まれた言葉だ。コンピュータ機器価格の経済効果と小型化の貢献で、夢のフルプロトコルスタックを載せた「モノ」を実現し、アドレス空間を広げておいて良かったね、と、どれもこれもWIDEの研究グループ、特にIPv6のプロトコルスタックへの情熱とそのスタックの簡易化などの研究開発活動が絡みながら発展してきた。

AI3の衛星を使った、宇宙からのSOI-Asiaの東南アジア展開は、宇宙からのカバレッジで当時インターネットが普及していなかった東南アジアの大学を確実につなぐ方法を実現し、地表と宇宙の3次元の経路制御としてのWIDEの大きな成果だ。現在の低軌道衛星のインターネットサービスは、従来あった低軌道衛星と地表とのインターネット接続の技術の高度化は実現しつつあるが、地表インターネットと衛星インターネットのダイナミックな経路制御は実現していない。このような発想はセグメントで競争をする商用ネットワークサービスからは生まれてこないだろう。インターネットで作る社会が、たとえば災害時にどのような冷静な経路制御ができるのか、を考えられるWIDEプロジェクトの責任ともいえる。

3. ビットマップディスプレイとマルチメディア

自分には絵心がないので、ビットマップディスプレイが生まれて真っ先に思いついたのは、文字が自由に配置できる表現のことだった。グラフィックを表現でき、あらゆるフォントの文字を配置でき、マルチウィンドウシステムが生まれ、やがて、ブラウザのプラットフォームとして発展してきた。このどのプロセスにも、少なからずWIDEプロジェクトやその前身であるJUNET周りの研究者やエンジニアの大きな貢献があった。日本語の利用や、やがてUnicodeなどの文字コードの標準化を経て、テキスト表現の「国際化」、すなわち、文字表現や入力システム、テキストが縦書きや右から左などを含む方向性の概念。今やHTMLの標準化に含まれるこれらの技術体系に対する日本のエンジニアの貢献は極めて大きい。

HTMLといえば、動画のサービスは、経済や社会を大きく動かしているインターネットの産業分野だが、動

画のようなストリームデータのサービスは両端での再送を前提とした、いわゆるベストエフォートの転送システムには相性が悪いサービスだ。WIDEが提唱したDVTSは、そもそも面倒なエンコードをせずに遅延を最小限でビデオストリームをデータグラムで流し続ける極めて強引なプロトコルで、WIDEでしか取り組み始めなかった技術だろう。インターネットトラフィックが急激に伸び続ける当時の環境においては、意外に商用ビデオサービスの発展に貢献した。このことは、WIDEに商用ビデオサービスに強い挑戦的な事業者やベンダーが存在したことから実現した。やがて、正攻法で全体のトラフィックを軽減させるマルチキャストや、データキャッシュをコンシューマ側に配置するCDNや、エンドシステムでのトラフィック測定にダイナミックに送信量(画像の場合は解像度など)を調整する技術などを駆使して、現在のインターネットアプリケーションの最大トラフィックとなった。この経過の殆どの技術にもWIDEプロジェクトのエンジニアが関わっていることはもちろんだが、いくつかの重要な標準技術の提案はWIDEを含めた日本のグループの貢献が大きい。

4. モバイルキャリアと自営ネットワーク

スマホをつなぐモバイルキャリアの発展は目覚ましい。技術的な標準化は3GPPによって推進され、要素技術の提案はIETFやETSIなどから生まれている。大きな歴史的な視点で見れば、5Gはインターネットが構築したデジタル通信の技術をキャリアのビジネスモデルで補完しながら、インターネットそのものをユニバーサルサービスに展開してきた空間とも言える。その主人公としてのデバイスには、Wi-FiとBluetoothという、いわば「自営網」の通信機能も含まれている。IPそのものは足回りを選ばないので、スマホが少なくとも1つの「公営網」と二種類の「自営網」を備えて、人口を超えて普及したことの価値はいまだに十分確立していない。5Gに至るキャリアやベンダーのさまざまな開発で活躍したWIDE出身のエンジニアたちは数え切れないほど存在する。ここには、全く新しい分散処理を生み出す土壌が確立していて、これからの研究と開発の挑戦が期待される。

5. 地球と地球を取り巻くネットワークの関係

既に述べたように、WIDEプロジェクトによる、アジアをつなぐAI3とSOI-Asiaの会合は50回を超え、二十数年ものあいだアジア太平洋のコミュニティを形成して、現在のARENA-PACとしての新しいインフラを、我が国の研究教育開発用インターネット組織とともに、世界の研究開発ネットワークと連携し、先端的な構築を続けている。AI3はインターネットインフラが存在しない東南アジアの各大学を衛星通信の技術を利用して、ピンポイントに繋いだところに特徴があった。IETFを舞台としたINRIA(フランス国立情報学自動制御研究所)との共同研究体制は、WIDEの国際研究活動の重要な起点ともなった。30年近くを経た今、低軌道衛星によるインターネットサービスが2022年に開始され、当時から提唱していた宇宙と地表のインフラの3次元的な融合がグローバルに可能となった。'Internet is for Everyone'は90年代半ば、インターネット人口が1%にも届いていないときに作ったISOCのスローガンだ。IoTにより'Internet is for Everything'が現実のイメージとなり、'Internet is Everywhere'の時代を迎えた。

6. WIDEプロジェクト2023へ

WIDEはここ数年、量子インターネットの議論をすることが多くなった。量子計算と情報の共有の安全と完

全性を追求する、テストベッド型の研究体制がWIDE っぽいアプローチとなっている。人も、産業分野も、社会に浸透するあらゆるサービスも、インターネットと分散処理を前提とする時代になった。この歴史の変遷は2020年からのグローバルパンデミックや、昨年のハイブリッド戦争の勃発で誰にでも認識され、WIDEが関わってきた技術に対する文化や文明としての期待や責任も増大化している。技術がわかっているからこそ、アーキテクチャがわかっているからこそ、また、その限界も議論できるからこそ、WIDEプロジェクトの役割と責任は大きく、重いと考えている。

WIDEプロジェクトの2022年度の活動のご報告にあたり、これまでの参加や支援に感謝し、その継続を計画することは当然として、次の世代への挑戦と戦略についての議論をすべての関係者と進めることも、WIDEプロジェクトの2023年度の使命である。

2023年3月

ファウンダー
村井 純

WIDEプロジェクト報告書2022年度 目次

第1部	特集1 Re-Arch・WIDE Internet再設計	12
第2部	特集2 Trusted Web 2022	14
第3部	特集3 Quantum Internet	17
第4部	特集4 ARENA-PAC	25
第5部	特集5 SOI Asia/AI ³ /APIE	29
第6部	特集6 M-Root DNSサーバの運用	42
第7部	非中央集権的なデータセキュリティとトラストdelight WGの設立	46
第8部	vSIX WG: IPv6前提インターネットの運用実験基盤	48
第9部	SoftwareDefinedMediaコンソーシアム	50
第10部	電子メール基盤運用技術の高度化	78
第11部	公開鍵証明書を用いた利用者認証技術	80
第12部	ネットワークおよびソフトウェア技術者・研究者連盟	82
第13部	Integrated Distributed Environment with Overlay Network	83
第14部	自動車を含むインターネット環境の構築	84
第15部	ネットワーク相互接続の実証実験	87
第16部	ネットワークトラフィック統計情報の収集と解析	92
第17部	ネットワークモニタリング(概要版)	94
第18部	ネットワーク管理とセキュリティ	97
第19部	DNS extension and operation environment (DNS)	99
第20部	先端技術研究会の開催および研究会用仮設ネットワークによる 高度な実験運用	101
第21部	WIDEネットワークの現状(概要版)	114
	参考文献	117
	執筆者一覧	123
	研究者一覧	124
	協力組織一覧	133