

2.5.6 デジタル社会インフラ

(1) 研究開発領域の定義

道路や鉄道、電力など物理的な社会インフラとともに、情報・通信ネットワークで代表されるデジタル社会インフラは、国民生活、産業、経済などの基盤を支える重要な役割を果たしている。それに加えて、他の社会インフラの高度化、持続性などにも多大なる効果を持ち、いわば、インフラのインフラとしての役目も持っている。IoT技術の進展と社会への普及を考えると、今後のデジタル社会インフラ構築においては、データ収集・配信と利活用のための技術が特に重要になる。

データ収集・配信においては、センサーやスマートフォンなどのIoT機器から得られる複数のセンシング情報を組み合わせ、それらの経時的な変化を収集・分析するための分散AI技術やIoT情報基盤構築技術、電力供給が不要なIoT機器を用いたゼロエネルギーIoTネットワーク技術などの構築が急務となっている。通信という観点では、大容量、低遅延、多数接続という従来の目標に加え、低消費電力、安心安全、自律性、未開拓領域の通信（拡張性）を実現する次世代の情報通信技術の確立が必要である。

データの利活用においては、安全なデータ共有基盤、およびそのデータを処理した結果を用いて社会と人のウェルビーイングを向上させる技術の確立が必要である。また一連の機能を社会や人が安心して利用できるよう、ICT社会基盤のディペンダビリティを向上させる技術の確立も重要である。

本領域は異なる要素技術を含む複合領域であり、具体的な研究開発課題は多岐にわたる。

(2) キーワード

第5世代移動通信（5G）、第6世代移動通信（6G）、ソフトウェア化、自営網技術（情報通信の民主化）、網内機械学習、サイバー・フィジカル・システム、状況把握／行動推定、エッジ・コンピューティング、エッジ・AI、超スマート社会（Society 5.0）、センシング、デジタルツイン、データ流通、アフェクティブコンピューティング、ウェルビーイング

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

多くの企業が生き残りをかけてデジタル・トランスフォーメーション（DX：Digital Transformation）を実施しようとしている。DXとは、データとデジタル技術を駆使して、ビジネスモデルを変革するとともに、業務プロセスや組織などの変化も実現することである。これは企業にとって必要なだけでなく、政府や自治体、社会全体にとっても重要な改革である。新型コロナウイルス感染症COVID-19の蔓延により、多くの企業や省庁、学校などが遠隔会議、テレワーク、リモート講義へと活動を移した。これを契機に、これまでの働き方や学び方を見直し、自由な働き方や柔軟な学習へと変わっていくことも予想される。

一方で、この感染症によって既存の仕組み、特にデータ共有への障壁の高さも如実に示された。2020年9月に発足した菅内閣では、デジタル改革担当大臣のポストを新設するとともに、デジタル庁の創設が計画され、社会の「デジタル変革」への期待が高まっている。DXは大きく分けると3段階あり、第1段階（デジタル化）で、アナログ情報のデジタル化が図られ、第2段階（データ連携）で複数のシステムを繋ぎ、ビジネスプロセスやビジネスモデルのデジタル化が図られる。そして第3段階では、AI、IoT、ビッグデータの利活用を通して、社会全体でデジタル情報の高度な使い方を創出していくことが求められている。本研究領域で取り上げるデータ収集・配信、利活用の技術の創出が、社会全体のデジタル変革や超スマート社会構築に大きく寄与するも

のと考えられる。

[研究開発の動向]

1990年代後半より無線センサーネットワークに関する研究が進んだ¹⁾ことから、これに関連して実空間からデータを獲得する様々な手法が提案されてきた。これには無線センサーネットワークの他に、参加型センシング、モバイルセンシング、オートモーティブセンシングなどが含まれる。2015年ごろより電波を用いた新たなセンサーの研究開発が着手されている。また2000年ごろより大規模データベースやストリーム処理、AIを含めた大規模データ処理の研究開発²⁾が進み、これが実社会の可視化や予測等に活用されつつある。世界のIoTデバイスの普及台数は2025年には416億台に達し、年間で生成するIoTデータの総量が79兆4億GBに達するとの予測があり³⁾、広範な空間から生成されるIoTデータの利活用が求められている。

2020年に商用化された5Gは、大容量・超低遅延・超多数接続を実現するものであり、新たなユースケースを創出する経済効果が期待されている。また、基地局・アクセス網の整備に加えて、バックホールを支える光ファイバー整備も推進する必要がある。有無線全体で情報通信技術の進化が期待されている。移動通信技術の進展に伴い、高帯域(10-20Gbps)、低遅延(1ms)、多数接続(100万ノード/km²)の携帯網が街中で利用可能になり、低遅延でのレスポンスを保証するには、利用者に近い場所にエッジサーバーを配置し、多数のエッジサーバーが低遅延でユーザーとインタラクションを行うエッジコンピューティングに基づく情報基盤が必須になってきている。エッジ側でクラウドサービスを利用できるネットワーク環境を構築し、各エッジが近隣エッジ群・クラウドと自律的に連携する分散AIや、分散協調システムの構築が進んでいる。

さらに、5Gを自営網として活用するローカル5Gへの期待が高まっている。これは、我が国における地域課題の解決、産業振興の原動力となることが期待されている。加えて、今後10年をかけて、Beyond5G/6Gと呼ばれる新たな情報通信インフラへの研究開発も始まりつつある。

収集されたデータを利用し、Human Computer Interaction (HCI) 分野では、Persuasive ComputingやAffective Computingに関する研究を通じ、人に作用するコンピューティングについての研究が進められてきた。さらに、行動経済学の知見が加わり、人の能力や個性、あるいは感情をコンピューターが理解し、それに応じて挙動を変化させるための研究開発が行われている。総合的には、社会からのデータ収集と蓄積、蓄積データの処理に関する研究が先行し、データを活用した人の行動変容や社会の様相変容、それらを通じたウェルビーイング向上に帰結する人間側の研究開発が続いて行われている。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

データの収集・配信においては、Beyond5G/6Gに向けた研究開発プロジェクトが世界各国で始まっており、特に、低周波数だけでなくこれまで通信には使われてこなかったミリ波、(サブ)テラヘルツ波の利用が進んでいる。これらの高周波数領域は、通信に加えて、センシングなどにも利用が想定される。宇宙観測や素粒子実験など高周波数の電磁波を扱う分野の知見の利活用などが期待される。これらの基本的性能の向上に加えて、エッジコンピューティング、ソフトウェア化など、計算機科学と情報通信工学の融合が進んでおり、データが通信により移動する中でインライン・データ処理を行う、計算機能と通信機能の融合が進んでいる。また、ローカル5Gに始まる「情報通信の民主化」では地域の課題解決に資することが期待されている。

一方、これまで通信が困難であった領域の通信を可能にする開発も進む。宇宙・高高度通信プラットフォームや海洋通信、水中・海中通信など、また、それらの既存通信との連携などが挙げられる。公衆通信網以外

の領域においては、無線給電などの技術も組み合わせて低消費電力のIoTデバイスや、それらのネットワークを構築するための研究開発が世界中で行われており、日本でもこれらの技術開発の推進を謳う「Society 5.0社会を支えるゼロエネルギーIoTネットワーク研究拠点」が、日本学術会議の第24期学術大型研究計画に選定されている⁴⁾。

データの利活用においては、従来とは違った方向での技術開発が進められている。車両やスマートフォンなどを使えば、無数の個人や無数のモノによって社会全体のデータを獲得することが可能になる。そのためには、より多くの参加者を得るためのインセンティブ設計や、無数の個人が生成するデータの真正性保証技術が新たに重要となる。また、データを生成する個人は特定のサービスから独立であることから、非中央集権型識別子 (DIDs; Decentralized Identifiers) を用いた個人の識別が重要となりつつある。今後も増加し続ける世界のIoTデバイスが生み出すデータを、リアルタイムかつ広域に共有できる技術が望まれる。REST (Representational State Transfer) やPublish-Subscribeを用いた単純なプラットフォームを単に面的に拡大するだけでは、それらからのデータを収容することはできても柔軟に共有することは不可能である。したがって、データ需要者の視点で大量のデータストリームを選択的に受信可能とする、新たなプラットフォームに関する研究開発が始まりつつある。このようなデータ流通基盤を通じてやり取りされるデータストリームは、これを企業間取引の対象とすることで、無限のデータを財とした経済の活性化が期待できる。データセットではなくデータストリームを取引可能とすることは、複数のデータストリームから新たなデータを工業的に生産するために必須と考えられ、超スマート社会の基礎となりうる。特にこの分野ではブロックチェーン技術の活用が試行されている。そうして生産されるデータを人が消費すると考えると、人そのものを理解する技術が重要であり、その研究開発が盛んになっている。表情や声から感情を読み取る技術が確立されつつあるのに加え、人の性格や感情、能力、くせなどに基づく処理の最適化技術の研究が進みつつある。これを用いて人の行動を無意識的に変化させるマインドレスコンピューティングを含め、それを用いて情報を人に作用させて社会のウェルビーイングを結果的に向上させる技術と、その倫理に関する研究が重要となりつつある。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

国内

- ・「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業／先導研究 (経産省)」⁵⁾

超低遅延や多数同時接続といった機能が強化された5G情報通信システムや当該システムで用いられる半導体等の関連技術、5Gの次の通信世代 (いわゆる6G) に掛けて有望と考えられる技術課題の研究開発が進められている。

- ・「地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証 (総務省)」⁶⁾

地域課題解決を実現するため、多種多様なローカル5G基地局の設置場所・利用環境下を想定したユースケースにおけるローカル5Gの電波伝搬等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル5G等を活用した地域課題解決モデルの構築を進めている。

- ・「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発 (総務省)」⁷⁾

広域的な量子暗号通信ネットワーク技術を確立し、極めて堅牢性の高いサイバー空間を実現することを目指している。

- ・「電波資源拡大のための研究開発の基本計画書 (総務省)」⁸⁾

特に、5G基地局共用技術に関する研究開発、多様なユースケースに対応するためのKa帯衛星の制御に関する研究開発、HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術に関する研究開発、

5Gの普及・展開のための基盤技術に関する研究開発、など、宇宙（衛星）・地上連携技術、HAPS通信システム、設備共用の研究開発などを実施している。

- ・ IOWN 構想（NTT）⁹⁾

IOWN（Innovative Optical and Wireless Network）構想とは、あらゆる情報を基に個と全体との最適化を図り、多様性を受容できる豊かな社会を創るため、光を中心とした革新的技術を活用し、これまでのインフラの限界を超えた高速大容量通信ならびに膨大な計算リソース等を提供可能な、端末を含むネットワーク・情報処理基盤を構築する構想である。

海外

- ・ PAWR¹⁰⁾

米国では、PAWR（110億円規模）、欧州ではEMPOWER（2.5億円規模）のような産学官連携R&DプロジェクトがBeyond5Gの研究を推進している。特に後者ではUS-EUが連携し、大学が自治体と地場産業とコンソーシアムを組み、「都市をまるごとテストベッド」を構築し、ユースケース駆動でBeyond5G基盤技術の開発を実施している。

- ・ スマートシティー

米国では、NSFと企業連合がそれぞれ50億円ずつ拠出して、ソルトレイク市やニューヨーク市などでスマート社会構築実証実験と都市情報基盤構築が進んでいる。また、ニューヨーク市では、1,600以上のデータが「NYC Open Data」として市民に公開され行政の効率化などに活用されるとともに、公衆Wi-Fiスポット「LinkNYC」の設置を通して、観光や地域の問題解決に役立てようとしている。また、シカゴやコロンバス、サンフランシスコなどの都市でも交通機関の利便性向上、環境改善、街の見守り、行政情報の公開（「DataSF」など）による行政サービスの効率化などが図られている。しかしながら、Googleがトロント（カナダ）で街区のスマート化を試みたものの、市民の理解が十分に得られずに失敗に終わったという例もある。

EUでは2010年過ぎより全域で、街のスマート化に関する複数のプロジェクトが進んでおり、2021年までの間にHorizon 2020プログラムを通じて数百億ユーロの資金が街の次世代化に投じられている。その中でもサンタンデル（スペイン）のSmartSantanderはIoT由来データを活用した研究開発として先駆的である。欧州ではさらにCiscoやNOKIAなどの民間企業が主導するスマートシティー構築も行われており、バルセロナ（スペイン）やブリストル（イギリス）がそれに当たる。

これに対して中国では、様々な企業が国民から取得した、個人情報を含むデータが研究に供され、交通量予測や車両の経路予測などの様々な先駆的な研究開発が進みつつある。これに加えて国主導で「天網工程」と呼ばれる監視カメラネットワークが全土に導入され、AIを用いた人物のリアルタイム識別システムを構築している¹¹⁾。現在およそ2億台以上のカメラが接続されていると言われており、AIによる解析結果は警察官が装着するスマートグラスに表示される。これを支える研究開発は中国国内で実施されていると考えられるものの、中国政府は「天網工程」の存在を公式には認めていないことから、詳細は一般には参照不能である。

シンガポールでは、「Virtual Singapore」¹²⁾として国全体のデジタルツイン化のプロジェクトが進みつつある。実空間のスタティックな三次元マップに、交通量や大気汚染物質濃度などライブで取得しうるダイナミックなデータを重畳して、社会の計算可能化を試みている点が先駆的である。同様の試みはヘルンベルグ（ドイツ）¹³⁾やニューカッスル（イギリス）等でも進められており、防災や交通、環境など様々な観点から都市を設計する上で、その都市を丸ごと計算可能とするものである。

- ・ 6Genesis¹⁴⁾

フィンランドアカデミーのフラッグシッププロジェクトとして、オウル大学が提唱する「6Genesis - the 6G-Enabled Wireless Smart Society & Ecosystem」が、2018-2026年の8年間で300億円の予算規模で採択された。6Gに向けた標準化項目やユースケース、KPIなどを議論するホワイトペーパーを2019年9月に発行した。

- ・ NSF

米国NSFでは、(i) Smart & Connected Communities (S&CC) 研究、(ii) Cyber-Physical Systems (CPS) 研究、(iii) Platforms for Advanced Wireless Research (PAWR) 研究、(iv) Smart and Connected Health (SCH) 研究、(v) AI Institutes Partnerships for Innovation (PFI) 研究、の5つの研究課題が重点研究課題として進められており、高度な無線通信技術に基づく都市の情報基盤構築技術や、人やモノの状況把握・行動推定技術を用いたスマート社会の構築技術、人の健康・医療・介護に資するセンシング技術の創出など、スマート社会の構築のための情報技術の創出と情報基盤構築が重要な研究課題となっている。

- ・ Horizon Europe

欧州では Horizon 2020 研究に続いて2021年から Horizon Europe 研究が開始され、7年間で941億ユーロの投資が行われる予定であり^{15), 16)}、Health care systems、Cybersecurity、Advanced Computing and Big Data、Space, including space observationなどの技術開発が謳われており、米国のS&CC研究や我が国のSociety 5.0研究などと同じように、スマート社会構築がICT分野の重要課題となっている。

- ・ 中国5G

中国のHuaweiなどが実施する5Gをベースにしたスマートシティ関連技術は、ドイツのデュースブルク市や欧州のいくつかの都市に展開されようとしており、米国との5Gをめぐる覇権争いの焦点となっている。これは通信速度や帯域の高性能化といった5Gの高速大容量通信技術に対する技術競争というより、高度な通信基盤をベースにした都市情報基盤構築に対する覇権争いという意味で重要であり、社会の様々なデータを誰が保持・管理できるのかが政治経済的に大きな影響を持つことがわかってきており、そのことが社会問題となっている。

(5) 科学技術的課題

まず、基本的な通信への要求として、大容量・低遅延・多数接続のKPIを向上するための要素技術が必要になる。そして、その次にはそれら大容量・低遅延を利活用する遠隔監視・遠隔センシング制御技術が望まれる。それと同時に、通信の低消費電力化、セキュリティの確保、柔軟な通信環境を実現するためのソフトウェア通信基盤技術、ネットワークの自動運用技術、自営網構築技術（情報通信の民主化）なども重要な要素である。

スマートホームやスマートシティに関連しては、edgeOS（都市OSと呼ばれることもある）の開発やそれに基づく情報基盤開発、位置や時間依存のアプリケーション開発基盤、エッジサーバー同士、あるいは、エッジサーバー群とクラウドサーバー間の自律的な連携、情報流のリアルタイム処理、街や対象領域の多数のモバイルユーザーのモビリティ推定やユーザー管理基盤、IoT情報基盤におけるプライバシー保護やセキュリティ対策、消費電力の少ないIoT情報基盤などの技術が重要である。さらに自律分散型のエッジサーバー管理、人を含めた分散協調システム（Humans in the CPS Loopと同じ概念）、エッジコンピューティ

ングのためのミドルウェア、スケーラビリティの確保、なども必要になる^{17)、18)}。これらの技術に関しては、2.5.3「データ処理基盤」および2.5.4「IoTアーキテクチャー」との関連が強い。

物理的な世界をスマート化するためには、空間モデルを大規模かつシームレスに構築することが必須となる。単に静的な三次元空間モデルではなく、リアルタイムに空間情報がアップデートされるとともに、空間内を動くモノや人、空間内で起きる事象など、様々な情報をダイナミックに組み込んでいくことが望ましい。

デジタルインフラが社会にとって必須のものとして機能していくためには、安全性や頑健性、回復性など、システムとしての信頼性を向上させる技術が極めて重要となる。

(6) その他の課題

情報通信の通常の進化は、通信事業者（キャリア・オペレーター）、通信機器企業（ベンダー）が中心となり進められてきたが、今後は、情報通信の民主化により、多くのステークホルダーが参加する形での進化が期待できる。ローカル5Gのように、周波数を一般事業者に開放する民主化を、公衆網サービスと併用して進めることにより、周波数利用の効率化と同時に新たなビジネスの創出なども進むであろう。その際、大学が公共財として社会に貢献する観点から、主に大学・地方自治体・地場産業がコンソーシアムとして都市をリビングラボとして使うBeyond5Gの大規模R&Dの予算整備を速やかに推進するべきである。大学キャンパスや都市の一部をBeyond5G周波数特区とし、実験周波数免許の取得緩和を行い、テストベッドを構築する必要がある。テストベッドにおいて、地域課題解決や産業振興および遠隔教育など、わが国が世界を先導するユースケースの実現に優先的に集中投資をするべきである。また、大学等を活用するテストベッドでの研究開発を通じて、企業を呼び込む産学連携と、研究ベースの教育（Research based Learning）により人材育成を行うべきである。

米国のGAFAsや中国のBATなどのIT巨大企業に多くのデータが寡占され、独占的に利活用されているという懸念も高まっている。個人のデータは個人の意思で管理できるようにし、寡占されているデータを他の管理者にも容易に移動できるようにして、利活用の可能性を拡大できる仕組み作りが世界的に進んできている。世界各国の個人情報保護法制の中でも、特にヨーロッパでは、EU一般データ保護規則（General Data Protection Regulation（GDPR））¹⁹⁾が2016年4月に採択され、2年間の移行期間の後、2018年5月より欧州経済領域（EEA：EU加盟28カ国+アイスランド、リヒテンシュタイン、ノルウェー）で全面施行されている。米国と中国の間で問題となっている5Gなどの覇権問題も含め、民主主義国家として個人情報保護の流れに沿った個人情報の収集・活用の仕組みを考え、データのオーナーシップを前提としたデータ利活用方法を世界に先駆けて示していくことが重要と考えられる。個人情報の保護に関する考えが広まり、制度整備も進んできたが、現在は技術が制度に追いついていない状況にある。

社会の側にも、デジタル社会インフラとなりうる技術の導入に消極的な行政や企業が存在する。行政はこれまでの業務形態を数十年間継続してきたが、新たな技術を受け入れて、業務を新しくしていくことの価値や、それによって社会が変遷していくことへの理解が必要である。全く新しい価値をデジタル社会インフラによって作り出す、産学連携や分野連携も重要である。特に経済の観点では、これまでの物財主体の経済に加えて、無限のデジタル情報財の経済にも注力すべきである。

COVID-19がもたらした影響は世界規模・同時多発的であり、デジタル社会インフラに対して様々な要求を突き付けた。一方では、これまで逡巡していたデジタルへの移行がこれを契機に進んだという面もある。これまでの社会的な仕組みを見直す機会でもある。次代に向けて、デジタル社会インフラへの研究開発投資を可及的速やかに進める必要がある。

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	各国が2018年にBeyond5G/6Gの研究開発に取り組み始めた中で2020年の戦略策定は遅い。しかし今後の展開次第で国際競争力を高めることが可能な状況。 AIやSociety 5.0関連技術研究が推進されているが欧米の後追いになっている。
	応用研究・開発	○	→	国内各地でICTを活用した応用研究として、トヨタのWoven Cityや幾つかの都市のスマート化などの提案はあるが、応用はまだ進んでいない。ユースケース駆動型の基礎研究へのフィードバックが不十分であり、今後は基礎研究を駆動する応用研究の観点が必要。
米国	基礎研究	◎	↗	GAFaを代表とする民間企業ベースで、AIに関する研究開発をリードしている。都市のスマート化や健康医療応用も活発に研究している。量子暗号・機械学習や情報通信に関する基礎研究は、巨大企業やトップの大学が牽引している。
	応用研究・開発	◎	→	実際に官民連携で都市のスマート化を推進している。PAWRなど、都市をまるごとテストベッドにした最新の基盤技術の応用研究もBeyond5G/6Gの文脈で推進をしている。
欧州	基礎研究	◎	→	人を中心としたICT社会基盤やセンシングの観点では、先進的な取り組みが見られる。5Gそして6Gに向けても欧州、特に北欧の通信機器企業の存在感が増しており、標準化にも大きな影響力を与えている。
	応用研究・開発	○	→	6Genesis等の6Gに向けたプロジェクトやEMPOWERなど米国PAWRと連携した、都市をまるごとテストベッドとする応用研究が進む。都市のスマート化は熱心である。一方、GDPRの制定で、個人データ保護に関する強い制約がある。
中国	基礎研究	◎	↗	量子暗号・量子通信・機械学習等の基礎研究で存在感が急激に増している。また5Gから6Gに向けた研究開発も巨大なベンダー企業を中心にかなり進んでいる。国民に関するデータを実際に用いて社会の分析や予測に関する研究が、特にAI分野で進んでいる。これらの研究に多額の国費をつぎ込んでいる。
	応用研究・開発	◎	↗	都市部での5Gの社会実装が急速に進んでいる。北京・上海・深圳の3大都市だけではなく、500を超えるスマートシティプロジェクトが進行。国全体で監視カメラとAIのネットワークを整備し応用が進んでいる。さらに、スマートシティ関連技術を欧州などに輸出しようとしている。
韓国	基礎研究	△	→	6Gの研究開発については発表があったものの、実質的活動で世界的な存在感は示していない。
	応用研究・開発	○	→	応用研究では目立った動きは感じられないが、過去のオリンピックでは5Gを用いた様々なデモが披露され、世界に先駆けて様々なユースケースが示された。また、仁川など一部の都市ではICT社会基盤による都市のスマート化の取り組みが見られる。
その他の国・地域	基礎研究	○	→	インドでは都市のスマート化に関する研究が進んでいる。フィンランドではOulu大学がフラッグシッププロジェクトとして6Genesisを推進中。5Gの市場シェアの大きい通信機器企業もあり世界の先頭を走る。
	応用研究・開発	○	→	シンガポールでは、国全体をデジタルツイン化するプロジェクトにより、技術の応用が進んでいる。

2.5

俯瞰区分と研究開発領域
コンピューティングアーキテクチャー

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

参考文献

- 1) Yick, Jennifer, Biswanath Mukherjee, and Dipak Ghosal. "Wireless sensor network survey." Computer networks 52.12 (2008) : 2292-2330.
- 2) Chen, Min, Shiwen Mao, and Yunhao Liu. "Big data : A survey." Mobile networks and applications 19.2 (2014) : 171-209.
APA
- 3) "The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast",
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45213219>
- 4) 日本学術会議, 提言「感染症対策と社会変革に向けた ICT 基盤強化とデジタル変革の推進」,
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t298-3.pdf>
- 5) "ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業", <https://www.meti.go.jp/press/2020/08/20200807002/20200807002.html>
- 6) "地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証",
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000250.html
- 7) "グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発",
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/02tsushin03_04000399.html
- 8) "電波資源拡大のための研究開発",
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000340.html
- 9) "IOWN 構想", <https://www.rd.ntt/iown/>
- 10) "EU-US joint development of advanced wireless research platform targeting new connectivity frontiers beyond 5G", <https://www.advancedwireless.eu>
- 11) 柏村 祐, "天網の衝撃— あなたの行動は監視されている —", 第一生命経済研究所, Life Design Report 2019.5, <http://group.dai-ichi-life.co.jp/dlri/pdf/ldi/2019/wt1905b.pdf>
- 12) Ignatius, M., et al. "Virtual Singapore integration with energy simulation and canopy modelling for climate assessment." IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. Vol. 294. No. 1. IOP Publishing, 2019.
- 13) Dembski, Fabian, et al. "Urban digital twins for smart cities and citizens : The case study of Herrenberg, Germany." Sustainability 12.6 (2020) : 2307.
- 14) "6G Flagship", <https://www.oulu.fi/6gflagship/>

- 15) “HorizonEurope”, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/yusikisha/20191024/siryo2-2.pdf>
- 16) “Horizon 2020 IoT Platform Projects”,
<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/research-innovation-iot>
- 17) Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, Lanyu Xu : “Edge Computing : Vision and Challenges”, IEEE Internet of Things Journal, Vol.3 , Issue 5, pp. 637-646, Oct. 2016. (引用数: 2445, Google Scholar)
- 18) Pedro Garcia Lopez, Alberto Montresor, Dick Epema, Anwitaman Datta, Teruo Higashino, Adriana Iamnitchi, Marinho Barcellos, Pascal Felber, Etienne Riviere : “Edge-centric Computing : Vision and Challenges”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 45, Issue 5, pp.37-42, Oct., 2015. (引用数 : 725, Google Scholar)
- 19) “REGULATION (EU) 2016/679 “, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&qid=1605488147995&from=EN>