2.5.5 IoTアーキテクチャー

(1) 研究開発領域の定義

膨大な数のセンサーや端末がネットワークに接続されるIoT時代において、実世界と情報世界を高度に融合するコンピューティング環境を実現するための技術である。

実世界を構成するモノ・ヒト・コトの状況を認識するセンサー技術、それらに作用や情報を与えるアクチュエーション技術、デバイスそのものの構成法、認識処理方式、作用や表示方式等の情報通信技術をはじめとして、長期稼働を実現するための電力供給技術、必要に応じて機器や端末が自律的に移動する技術、ビッグデータ分析を可能にする機械学習/AI技術が含まれている。

ここでは、実世界との境界（エッジ）にあってSociety 5.0を実現する情報流の源でありかつ作用点としての観点から関連する技術、動向と課題を俯瞰する。

(2) キーワード

エッジコンピューティング、フォグコンピューティング、スマートエッジ、5G/Beyond 5G、ストリームコンピューティング、Internet of Things、エネルギーハーベスト、VR、生体情報、パーソナルデータ/個人情報保護/活用、ウェルビーイングコンピューティング/行動変容、アクチュエーション、ヒューマンAI協調

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

膨大な数のモノがネットワークに接続されるようになると¹⁾、現在のクラウドコンピューティングはネットワークに起因する遅延、様々なデバイスへの対応、地域性・局所性への対応などの観点で必ずしも最適な解とはならなくなる。モノがクラウドに接続される形態に加えて、生成される情報の時空間的な流通価値に応じてエッジ側に機能追加することも必要となる。

例えば、スマートグリッドにおける高速デマンドレスポンス²⁾では、数秒オーダーの速度で需要側に設置されたスマートメータと需給調整を行うことが必要となる。広域に分散したデータを実時間で処理する最も困難な事例の一つである。膨大な数のスマートメータからデータを収集して、需給調整方法を計算し、需給側に対して制御を行うことを考えると、集中管理のクラウドでは遅延の制約を満たすことが難しくなる。エッジ側とクラウド側とが連携しながら処理を行う仕組みが必要となる。さらにエッジ側で高度なAI処理が可能なデバイスが普及し始め、実世界認識と前処理はエッジで行い、ビッグデータ分析のみクラウド側で処理するといった分業が現実的になり始めている。

実世界と接し、そこから様々な状況を認識し情報を取得するセンシング、実世界に作用を与えるアクチュエーションといった技術、実世界に接するエッジでのAIに代表される高度な認識を担うスマートコンピューティング技術、エッジで得られた情報が構成するビッグデータを大量の計算機資源で制御・分析するクラウド技術、そしてエッジとクラウドをつなげる様々な情報通信技術と分散処理技術が本領域には含まれる。IoTアーキテクチャーは、これらの広範な技術を統合した上に成り立ち、実世界と情報空間の間に位置し、利用者にとって最も身近に感じられる重要な位置づけにある。

[研究開発の動向]

コンピューティング分野は、時代とともに何度もパラダイムシフトを繰り返してきた。1960年代にはユーティリティーコンピューティングという概念が生まれ³⁾、その後、クラスターコンピューティング、さらに1990年代に入ると、ユビキタスコンピューティングの考え方が登場し、ヒューマンセントリックでコンテキストアウェアなサービスが創出された。また、インターネット上の多くの計算資源を結びつけ、ひとつの複合したコンピューターシステムとしてサービスを提供するグリッドコンピューティングも登場した。2000年代に入ってから、大規模データセンターを背景としたクラウドコンピューティングが世界を席卷した。2000年代後半からモバイルクラウドコンピューティングが唱えられはじめ、今のフォグ/エッジコンピューティングへと発展している。

これらの変遷の背景には、エンドユーザーの要求とハードウェアの進化がある。フォグ/エッジコンピューティングが登場した背景も、エンドユーザーの要求の変化とデバイスの高性能化にある。クラウドコンピューティングでは通信遅延が大きく、モビリティサポートへの対応が不十分、大きな通信オーバーヘッド、コンテキストアウェアネス対応が困難などといった課題を抱えていた。

通信技術

5Gの「大容量」という特長を生かすミリ波サービスが始まっているが、28GHz帯基地局設置のノウハウとコストに悩まされている。しばらくは他の特長である「低遅延」と「多数接続」を活かすことになるが、これらは元々遅延の大きいクラウド処理よりもエッジでの情報流通と実時間処理での活用こそが本命である。産業界においてもフォグ/エッジコンピューティング分野での動きが活発になりつつある。5Gの持つ「低遅延」、「大容量」、「多数接続」という特徴を活かして、アプリケーションの応答性の改善や、ユーザーエクスペリエンスの向上などが期待されている。OpenFog Consortium⁴⁾、OpenCORD initiative⁵⁾、ETSI Mobile Edge Computing (MEC)⁶⁾、Field System⁷⁾、Edge Cross⁸⁾などのコンソーシアムも設立され、それぞれが主導権を獲得すべく活動をしている。国内でもさくらインターネット研究所の超個体型データセンターによる動きがある。一方、Beyond 5Gもしくは6Gへの期待も高まっており、量的な進化のみならずハイブリッドな通信方式の提案、超低消費電力などの提案がなされている⁷⁾。

Bluetooth 4.0で採用されたBLE (Bluetooth Low Energy) は新型コロナ感染防止など近距離プレゼンス認識で注目を戻し、Bluetooth 5.0ではメッシュネットワーク機能が取り入れられ多数端末管理機能の充実が期待される。920MHz帯を活用するLPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれるノイズレベルのサブGHz帯の無線信号を低ビットレート、超低消費電力でサポートする広域無線網はソニーのELTRESのような高信頼性を実現し、今後のダウンリンクへの展開も注目されている⁸⁾。

センシング技術

センシング機器はMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いた小型化、省電力化が進み、さらにデジタルセンサー機器に専用プロセッサを追加することによるスマート化がますます推進されている。いわゆるニューラルネットワーク処理エンジンを用いた高度な実世界認識技術がエッジでのセンサーにより獲得された生のデータを目的とする情報にまで認識・分析して抽象度をあげ大幅に圧縮する。その場でカメラ映像からヒトのみを抽出し、匿名化処理を施しプライバシーに配慮した試みも実用化段階にきている⁹⁾。

一方で高齢化そして新型コロナウイルス感染拡大といった状況で、生体情報センサーの注目度が急激に上がっている。体温、脈拍、心電のほか、パルスオキシメーター (動脈血酸素飽和度) などをウェアラブル

機器が装備するようになっている。中国では感染封じ込めのため、市中に設置したセンサーやロボットで自動的に発熱者の追跡もなされたという。

近年のスマートフォンでは、UWB (Ultra Wide Band) およびWi-Fi RTT (Round Trip Time) によるより精密で正確な測距・測位技術が注目され¹⁰⁾、自動運転車用センサーであるLiDARの低廉化、ミリ波レーダーの活用などが注目されている。また、車車間通信であるV2Xが4G LTEや5Gを利用したCellular V2Xへと進展しており、米国フォード社は2022年から開始予定としている。このC-V2Xにより、車が歩行者のスマートフォンのセンシングやスマートフォンとの通信サービス (V2P (Vehicle-to-Pedestrian)) が実現され、歩行者事故防止への貢献が期待される。特にUWBとLiDARは携帯端末への搭載が普及しつつあり、AR/VRなどへの活用が期待される。

機械学習・AI技術

AIプロセッサは、Google、NVIDIA、Intelの他にも2020年Green500でトップを取ったPFNのMN-Coreをはじめ、スタートアップ各社によって百花繚乱である。クラウド・エッジともにターゲットとされて開発されているが、論文として公開されているTPUを除いて技術的詳細は公開されていない。機械学習にはモデル生成の学習フェーズと、生成されたモデルによる識別フェーズがあるが、クラウド用途はモデル生成を競いスケラビリティと浮動小数点演算が重視され、エッジでは識別器のみを効率よく動かすことが主眼とされている。

携帯端末におけるAI・機械学習ソフトウェアでは、iOSのCoreMLやGoogleのTensorFlowとその携帯端末版であるTensorFlow Liteを内蔵するML KitがmBaaS (mobile Backend as a Service) であるFirebaseの一部として実装されて¹¹⁾、モデルサイズを極限まで縮小し、オンデバイスでのスタンドアローン実行がテキスト・顔・ランドマーク・バーコードといった一般的モデルでは実現できている。

AIがどれほど優秀になっても、人とAIはどちらかが完全に責任を取る形ではなく、互いに主導権を移譲し合いながら業務を遂行するための技術が必要となる。排他的に移譲するのか、協調的な業務遂行が可能か、移譲を安全に実現するための技術¹²⁾などが注目されている。

電力供給技術

IoTのエッジでの小型端末に必須の要素である電力供給をいかに実装するかは常に課題である。大容量二次電池では全固体電池技術によるさらなる高性能化が期待され、一気に電気自動車への移行が加速している¹³⁾。より小型のIoT機器では電気二重層コンデンサー (Electric double-layer capacitor, EDLC) やリチウムイオンキャパシターなどの高効率キャパシターの実用化のための開発、IoT機器に特化したエネルギーハーベスターの開発に注目が集まっている。環境発電技術では光発電以外に、レクテナによる電磁波や近距離での無線給電技術、音や振動による発電の研究も実用間近である。

一方で無線給電技術として、給電ステーションなどの特定の位置ではなく、部屋の中全体といったより広い空間での位置に縛られない無線給電や、広範囲の面給電装置に対して効率的な給電ルーティングと無線給電スポットの任意箇所での生成が実現されており、遍在するIoT機器へのより自由度の高い給電可能性が広がっている¹⁴⁾。

アクチュエーション技術

実世界に影響を与える作用を実現するものであり、携帯端末での情報の提示、街中でのデジタルサイネージ、

機械可読マーカー、タッチデバイスに導入される力覚生成機器はウェアラブル機器、特にヒアラブル機器（ワイヤレスイヤホンなどの機器で、スマートフォンに接続して音声インターフェースとして利用する）のインターフェースとしても多用されるようになってきており、今後は広範囲に力覚を用いたUIが適用されていくと思われる。

一方で、自律移動ロボットも種類が増えUAV/UGV（Unmanned Aerial/Ground Vehicle）も低価格化、普及が始まっている。UAVはまだ規制が厳しく無人での自動運転は実用にはなっていないが、都市空間の極小エリアでの気象予報技術との連携が注目されている¹⁵⁾。UGVは私有地内等でのカート、コンピューター用途での活用、一般歩道でのデリバリーカートなどが実用化されつつある。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

フォグ/エッジコンピューティング分野の特徴は、プレーヤーの多様化である。もともとは、シスコがフォグコンピューティングを2012年に提唱¹⁶⁾したように、IT企業がフォグ/エッジコンピューティングを主導してきた。これに対して、昨今は、通信事業者や製造業などからフォグ/エッジコンピューティングに参入するプレーヤーが増えてきている。通信事業者からはMobile Edge Computing（MEC）、製造業からはGEのIndustrial Internet Consortium¹⁷⁾、ファナックのField System、三菱電機のEdge Crossなどである。

このような流れの中で求められるものは、多種多様なアプリケーションの要件を理解することに加えて、これらの要件を抽象化してフォグ/エッジコンピューティングの設計につなげていくことである。現在は、個別のアプリケーションに特化したフォグ/エッジコンピューティングにとどまっている。特化型フォグ/エッジコンピューティングの開発を通して要件を一つ一つ積み重ねていながら、抽象化につなげ、汎用的なフォグ/エッジコンピューティング基盤の構築につなげていかなければいけない。

また、IoTデータを単一システム内、あるいは、複数のシステム間をまたいで流通させるためのメタデータの記述や流通プロトコルが重要である。インターネットがTCP/IPによって発展したようにIoTシステムのさらなる発展には、汎用的な流通プロトコル（MQTT, CoAP, HTTP REST, SOX, SPAQL）の確立が重要な課題である。

センシングの注目動向としてはスマートフォンに搭載されるセンサーとして、LiDAR、UWB、Wi-Fi RTT、多眼カメラデバイスがあげられる。LiDARはAppleのFaceIDから導入されたがAR/VR応用での可能性が広がっている。UWBは正確な測距センサーとして機能するが、応用にはSOM（自己組織化マップ）技術などの基盤が必要となろう。また、コンパニオンデバイスが必要とされる。Wi-Fi RTTは基地局への導入から始まっているが、今後は端末間でも正確な測距が可能なハードウェアが導入されていくと思われる。多眼カメラデバイスはAI技術による写真撮影の高度修正機能としてのみ利用されているが、いずれは立体視された空間認識結果を活用するLiDARの補完的な役割を担うであろう。一方で、グリップ検出の圧力センサー、ミリ波レーダーによるジェスチャーセンサー（Google Pixel4のSoli）は応用が追いついてきていない状況である。

モビリティの大きな動向としては、無人タクシーや物流の先導追従運転など自動運転の社会への導入が始まり、ポスト自動運転の世界を考えた動きが始まっていることであろう。トヨタのe-Paletteを始めとするモビリティをプラットフォーム化する動き¹⁸⁾に加えて、富士裾野市でのWoven City構想¹⁹⁾はインテリジェントビークル社会実現のためのデータセントリック手法として位置づけられる。自動運転技術の熟成のためのデータ収集という側面と、そこで暮らす人々のパーソナルデータの活用という側面も持つ。またMaaS（Mobility as a Service）を実現しようとする社会実証が各地で始まっているが、鉄道・地下鉄・タクシー

の連携のみでの試みが多く、自治体主導でMaaSレベル4（政策の統合）の実現を目指そうとしているものは少ない。

個人情報データは保護すべき対象とされるが、それを安心して活用できる基盤として情報銀行という仕組みが立ち上がりつつある。個人がその健康データや購買データを信託し、それを非識別化加工を実施した上で、活用するサービス企業とやりとりし、銀行のように一部の利息が個人情報提供者に戻ってくる仕組みである。情報銀行はこれらの個人情報を中央集権的に管理する仕組みであるが、一方ではPLR（Personal Life Repository）にもとづいた個人の医療・介護記録を自身で管理し、流通の制御を個人にゆだねる分散PDS（Decentralized Personal Data Store）の仕組みの実証も始まっている²⁰⁾。高齢化が進む社会でのパーソナルデータ活用の推進の意味でも注目すべき試みである。

自動車保険の分野でもセンシングを活用したあらたなサービスが開発されている。あいおいニッセイ同和損害保険は、トヨタ自動車のテレマティクスサービス「T-Connect」のナビから、スマートフォン等を通じて取得した車両運行情報を、走行距離に基づいた保険料の算出や安全運転アドバイスなどのサービスに活用している²¹⁾。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

ZEB（Zero Energy Building）の取り組みの中でも、IT/IoT/AI技術を活用して実証環境を自社内に構築している三菱電機のZEB関連技術実証棟「SUSTIE」²²⁾では省エネ性に優れた居住・執務空間の実現が期待される。

トヨタの次世代型近未来都市構想「スソノ・デジタル・クリエイティブ・シティ（SDCC）構想」²³⁾では、CES2020で発表されたWoven City構想をベースに超スマートシティとしての工場・モビリティにとどまらず、観光・健康・医療・農林業といった広範な分野での貢献が期待されている。

携帯電話ネットワークの状況としては、5G以降の技術開発での中国に対抗する計画として2025年大阪・関西万博での披露を目指してBeyond 5G/6Gのプロジェクト⁷⁾が起きている。開発目的として5Gが目指してきた高速性、低遅延、多端末のレベルをさらに引き上げるとともに、DXの後押し、さらにはコロナ禍を通してのテレワーク、オンライン化する社会の進行を加速する目的もある。様々なネットワークの透明で自律的な連携を視野に入れ、HAPS（High Altitude Platform Station）や衛星を含んだハイブリッドでの拡張性や超低消費電力の実現などを目的としている。

位置情報を活用したマーケティングとサービス施策の促進のために世界中に26のチャプターを持つLocation Based Marketing Associationが設立され、日本支部²⁴⁾でも位置情報サービス提供のスタートアップ、地理情報計測企業、マーケティングリサーチ企業などが参加している。位置情報はその表現が直接的なものでなく、デバイス情報を利用することが多いため、個人情報保護の観点からその利活用のガイドラインの確立においてカメラ情報よりも遅れていたが、会員会社らの努力により時代に合わせた運用が今後提案されていくことが期待されている。

米国では2020年2月の大統領令により、PNT（Position Navigation Timing）に関連するインフラの脆弱性対策、冗長性の整備が義務付けられており²⁵⁾、さらに2019年のFCC命令では緊急呼（E911）での発信者位置情報への3D情報の追加²⁶⁾もあって、屋内外位置情報や高精度時刻情報のためのインフラ整備事業が起こりつつある。特に、通信キャリアは端末の機能追加が必要になるため、それに必要となる技術を持つ会社との提携が始まっている。地上基地局を整備して3次元測位および屋内外測位をサービス提供するNextNav社は大型調達を実現し、AT&Tからの採用も決定している。

(5) 科学技術的課題

エッジコンピューティングは、利用できる計算機資源が時々刻々変化する環境であり、フォグ、クラウドとなるに従い、資源の可用性は安定してくる。その度合いに適応して稼働するために、フォールトレランスの実現に必要な動的スケジューリングやプロセス・コンテナのマイグレーションが必要となる。現在、そこまでのソフトウェア環境をエッジに装備することはできていないが、いずれ高速で移動するインテリジェントカーを計算機資源として活用するための開発が必要となる。

エッジコンピューティングの進展は、エッジで利用できるデバイスの発展がいくらあっても、何らかのフォグ、もしくはクラウドでの処理との連携が必要である。特に、現在のAI技術に代表される機械学習・深層学習の学習フェーズはクラウドでの処理が必須となる。大量の計算資源を必要とする学習フェーズでは、分散化をいかに効率よく実現するか、さらには多くの生のデータが含む個人情報をどのように保護するかが課題となっている。Federated LearningやPrivacy-Preserved Learningでは分散化や暗号化、多段の特徴量生成などが試されているが、データの完全性が欠如するため学習効率とのトレードオフが問題とされている。

一方、識別処理に関しては、何をどの精度で識別するかが、ベースとするモデルで処理性能（メモリーサイズや処理時間）に影響が出るので、エッジで単体のオールマイティの能力を有する識別器を用意するのは現実的ではない。しかし、識別対象を限定した識別器をエッジにおいて同時に複数でハイブリッドに活用するAI技術の「センサーフュージョン」の実現は期待されている。

エッジコンピューティングで利用されるIoTデバイスは、オープンな環境化での利用が多く、特に、ここ数年間TCP/IPポート23（Telnet）をターゲットに不正ログインをし、マルウェアに感染され、これら機器を踏み台にした大規模サイバー攻撃（DDOS攻撃）によりインターネットに障害が生じるなど深刻な被害が発生している。また、IoTデバイス向けの軽量暗号や機器認証が課題である。攻撃を受けた上でもそれに耐性を持つことのできるセキュアOSや冗長性を機器、アルゴリズム、接続方式など多面的に実現していくことが期待されている。

(6) その他の課題

After/Withコロナ時代に対応した、位置情報を始めとする個人情報活用の新たなスタンダードが必要とされている。特に、緊急時と平常時といった2段階ではない複数段階のBCPレベルの定義とそのレベルの自動識別、識別されたレベルに対応したデータ品質と処理の実現が要求される。

5Gにおいて日本が出遅れた大きな理由の一つは、標準化委員会への人材投入意識の圧倒的な欠如にある。特に若い世代の人材投入が世界的な標準化事業に対してほとんどなされておらず、その一方で中国の若い世代の投入は目覚ましいものがある。この状況が続く限り、世界的な標準化事業における日本のプレゼンスは今後の改善が全く見込めない。

アーキテクチャー設計は技術開発項目に含まれることになるが、学術的成果として認められづらいこともあり、なかなかアーキテクチャー議論にリソースを割くことができない状況になっている。そのため、研究開発プロジェクトにおいては、意識的にアーキテクチャー議論を推進する仕組みがあることが望ましい。抽象化して議論する場を提供することが、わが国のアーキテクチャー人材の育成にもつながる。例えば、クラウド技術の民間活用に比べて、エッジコンピューティングの利用に関してはデファクトスタンダードが存在せず、アドホックに利用できる安価なソリューション自体も存在しない。これはアーキテクチャーの標準化がなされていないことに起因する。スマートシティ・スーパーシティ構想においても、いわゆる「都市OS」という考え方はその意味でも重要な意味合いを持っている。

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

(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	△	↘	研究費、人材の減少が長く響く。標準化への資材・人材投資の不足。
	応用研究・開発	○	↘	選択と集中される分野が既に主導権を取れないものばかり。コロナ禍でDXの遅れの顕在化。
米国	基礎研究	◎	→	明らかな米中2強時代の始まり。好調なGAFANAなど応用サービスの企業からの基礎への投資が目覚ましい。
	応用研究・開発	◎	→	GAFANAがGDPRへの対応に苦労して成功。引き続き、GAFANAに対抗できる存在が、BATH以外に見られない。
欧州	基礎研究	○	→	目覚ましい動きは見られない。英国のベンチャーは依然堅調。
	応用研究・開発	○	↘	スマートシティなど「場」造りは進むも、GDPRの発効後に研究的な進展や独自サービスの動きは見えない。UK離脱のEU弱体化の影響か。
中国	基礎研究	◎	↗	5G/AI/バイオいずれも圧倒的な世界的特許の数。研究開発への国家予算の規模が桁違い。
	応用研究・開発	◎	↗	米国の制裁を受けてもたじろがない、独立した独自サービスの充実と、それを十分に支えて牽引するマーケット。
韓国	基礎研究	△	→	ディスプレイ技術以降の独自研究成果をみるまでには至らない。
	応用研究・開発	○	→	家電系、モバイル/ウェアラブルなど売れるものづくりは引き続き堅調。
その他の国・地域	基礎研究	○	→	インド、台湾のIT、フィンランドの各種スタートアップ、イスラエルなどの軍事関連技術の台頭。
	応用研究・開発	○	→	エストニア、フィンランドなど、電子政府、MaaSでの台頭。

(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

関連する他の研究開発領域

・ MEMS・センシングデバイス（ナノテク・材料分野 2.3.4）

参考文献

- 1) 総務省、「IoTデバイス1の急速な普及」、情報通信白書平成30年版
- 2) 経済産業省、「ディマンドリスポンスについて」、第4回総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会制度検討作業部会、2017年4月20日 <http://www.meti.go.jp/>

- shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/seido_kento/pdf/004_s01_00.pdf
- 3) Simson Garfinkel, "The Cloud Imperative", MIT Technology Review, October 3, 2011
<https://www.technologyreview.com/s/425623/the-cloud-imperative/>
 - 4) <https://www.openfogconsortium.org/>
 - 5) <https://opencord.org/>
 - 6) <https://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/multi-access-edge-computing>
 - 7) Beyond 5G 推進戦略懇談会
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/Beyond-5G/index.html
 - 8) 成長期を迎えた LPWA の将来と課題
<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/52839>
 - 9) 駅構内カメラ画像配信“駅視-vision (エキシビジョン)”の実証実験を開始します
<http://www.tokyu.co.jp/company/news/list/?id=2392>
 - 10) F. Dumbgen et.al. : Multi-Modal Probabilistic Indoor Localization on a Smartphone, In Proc. of IEEE International Conf. on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) , Pisa, Italy, 2019.
 - 11) Google のモバイルアプリ向け機械学習モデルが iOS/Android 共通で登場
<https://jp.techcrunch.com/2018/05/09/2018-05-08-googles-ml-kit-makes-it-easy-to-add-ai-smart-to-ios-and-android-apps/>
 - 12) 泉田 啓他：協調タスクを行うマルチ・エージェント分散制御の制御器の存在確認方法と最適制御に関する研究, 第 64 回システム制御情報学会研究発表講演会, 神戸, GS14-7, pp. 657-664, 2020.
 - 13) FW グループ、EV 向け全固体電池を量産へ
<https://response.jp/article/2018/06/22/311132.html>
 - 14) ERATO 川原万有情報網プロジェクト
<https://www.jst.go.jp/erato/kawahara/>
 - 15) 森 康彰：ドローン向け気象情報提供機能の研究開発, Japan Drone 2018 | 3rd (ジャパンドローン 2018 | 第3回) , 2018.
 - 16) Cisco、「フォグコンピューティング」https://www.cisco.com/c/m/ja_jp/solutions/internet-of-things/iot-system-fog-computing.html
 - 17) <https://www.iiconsortium.com>
 - 18) トヨタの e-palette 構想
<https://newsroom.toyota.co.jp/jp/corporate/20508200.html>
 - 19) トヨタの Woven City 構想
<https://global.toyota/jp/newsroom/corporate/31170943.html>
 - 20) 東京大学、医療・介護記録を自身で管理する仕組みを試験運用
<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/090400176/?ST=health>
 - 21) あいおいニッセイ同和損保、走行距離連動の保険を 4 月から販売…トヨタ T-Connect 活用
<http://e-nenpi.com/article/detail/243935>
 - 22) 三菱電機 ZEB 関連技術実証棟「SUSTIE」
<https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2020/1001-a.html>
 - 23) スソノ・デジタル・クリエイティブ・シティ (SDCC) 構想

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

<http://www.city.susono.shizuoka.jp/jigyosha/13802.html>

24) ロケーションベースマーケティングアソシエーションジャパン

<https://www.lbmajapan.com>

25) トランプ政権が新大統領令でGPSの防衛目指す

<https://jp.techcrunch.com/2020/02/14/2020-02-13-trump-administration-aims-to-protect-gps-with-new-exec-order/>

26) FCC : Wireless E911 Location Accuracy Requirements

<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-360516A1.pdf>