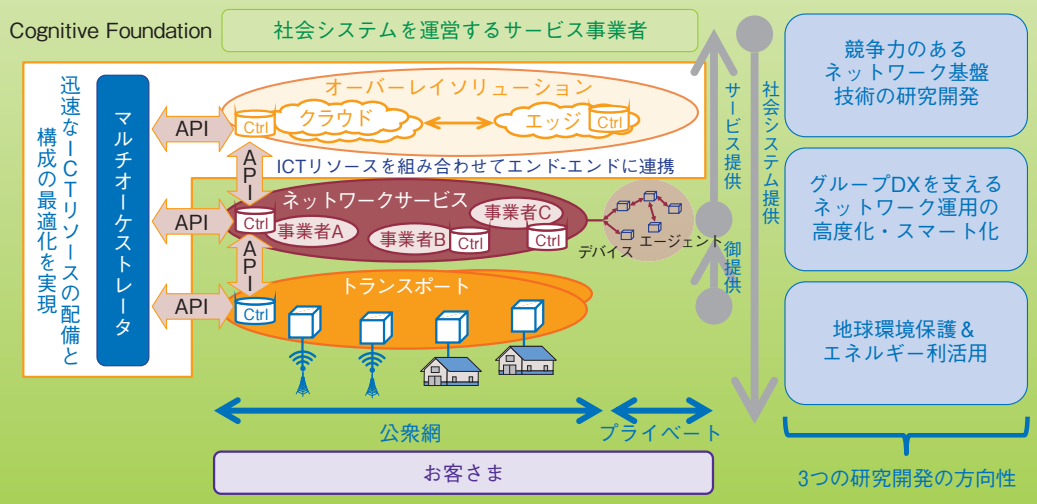
特　集

将来のデジタル社会
クの変革―ネット

デジタルトランスフォーメーション　Cognitive Foundation®　ネットワーク技術　アーキテクチャ　クラウドネイティブ

本特集では，これからの社会的課題を解決し，将来のデジタル社会を支えるネットワーク技術開発の取り組みについて2号にわたり紹介する．4月号では①競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発（12技術），5月号では②グループDX（デジタルトランスフォーメーション）を支えるネットワーク運用の高度化・スマート化（6技術）と③地球環境保護＆エネルギー利活用（1技術），の研究開発方針に基づいた具体的な研究開発成果を紹介する．



Cognitive Foundation® の概要

を支えるネットワーク基盤編―

■ 将来のデジタル社会を支えるネットワーク技術開発の取り組み 10
将来のデジタル社会を支える「Cognitive Foundation®」の方向性と研究開発成果を紹介する.

■ 新アクセスシステムアーキテクチャ：FASA® 13
DBA（Dynamic Bandwidth Allocation）機能のソフトウェア部品化技術について紹介する.

■ GNSSとネットワークの連携による高付加価値位置情報サービス 15
「マルチグレード」な測位を志向した新たなGNSS測位のアーキテクチャを紹介する.

■ 高臨場VRサービスを実現するキャリアエッジコンピューティング基盤技術 18
VR（Virtual Reality）アプリケーションをエッジコンピューティング基盤経由で提供するユースケースを紹介する.

■ 幅広い要件に迅速にこたえるネットワークスライシング技術 20
End-to-Endスライス実現に必要なスライスゲートウェイ技術について紹介する.

■ 双方向通信型アプリケーションの体感を向上させる最大ネットワーク遅延保証技術 22
要求遅延量を考慮した新たなシェーピング方式について紹介する.

■ ネットワークリソースの最適設計・制御技術 24
ネットワークの最適設計技術，クラウドネイティブSDx制御技術を紹介する.

■ 体感品質を制御する映像配信技術 26
精細・高臨場の映像コンテンツを経済的に高品質で配信する技術を紹介する.

■ 映像転送を支えるデータストリームアシスト技術 28
IoTサービス事業者の利便性向上につなげる技術について紹介する.

■ AIを用いたデバイスごとのポリシー制御技術 30
デバイスごとに最適なネットワーク制御を実現するポリシー制御技術について紹介する.

■ パスワードレスでの利用資格の共有・委譲技術 32
パスワードを必要としない安全な認証基盤技術について紹介する.

■ モノづくりを革新する光ファイバ・光デバイス技術 34
ハイパワー伝送用光ファイバ・光デバイス技術について紹介する.

■ 無線LAN電波を活用した鳥獣検知システム 36
農地に侵入した鳥獣を無線LAN電波の変動のみで検知する鳥獣検知システムを紹介する.

将来のデジタル社会を支えるネットワーク技術開発の取り組み

社会がデジタル化していく動きに合わせて，デジタル社会を支えるネットワークも進化していく必要があります．そのため，NTTではデジタル社会におけるさまざまな課題を解決するネットワーク基盤「Cognitive Foundation®」の実現に向けた研究開発に取り組んでいます．本稿では，将来のデジタル社会を支えるネットワーク技術の研究開発方針である，①競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発，②グループデジタルトランスフォーメーション（DX）を支えるネットワーク運用の高度化・スマート化，③地球環境保護＆エネルギー利活用，に基づいた具体的な研究開発成果を紹介します．

つじ　たちもと　しんや　まさき
辻 ゆかり †1 /立元 慎也 †2
こばやし
小林 正樹 †3

NTTネットワーク基盤技術研究所　所長 †1
NTTネットワークサービスシステム研究所　所長 †2
NTTアクセスサービスシステム研究所　所長 †3

デジタルトランスフォーメーションに必要なネットワーク技術

IoT（Internet of Things）の進展により，あらゆるモノがネットワークにつながり，大量のデジタルデータ（ビッグデータ）の効率的な収集・蓄積が可能となっただけでなく，AI（人工知能）を用いて，業務効率や生産性の向上に資する高度な分析・予測も可能となってきています．その一方で，我が国は，少子高齢化や労働力人口の減少といった社会的課題を抱えており，さらに，甚大な被害を及ぼす自然災害にも常に備えておかなければならなくなっています．そのため，さまざまな産業の垣根を越えたデータ流通によって社会的課題を解決し，社会に変革をもたらす「デジタルトランスフォーメーション（DX）」への期待が高まっています．

社会基盤としてのネットワークも，社会システムを運営するサービス事業者の多様な要望に対して，有限のICTリソースを最適な構成で迅速かつ安定的に提供することが求められています．このようなニーズにこたえ，DXを実現するオーバーレイソリューションが「Cognitive Foundation®」[(1)]です（図）．これは，クラウドからエッジコンピュータ，ネットワークを仮想化されたICTリソース群として扱い，マルチオーケストレーション機能をハブとしてレイヤの異なる複数のリソースを最適統合して一元管理し運用する技術です．

なお，さまざまな産業でAIやデータ活用によりDXが進む中，ネットワークにも，従来の音声通話，インターネット接続，映像配信サービスに加え，

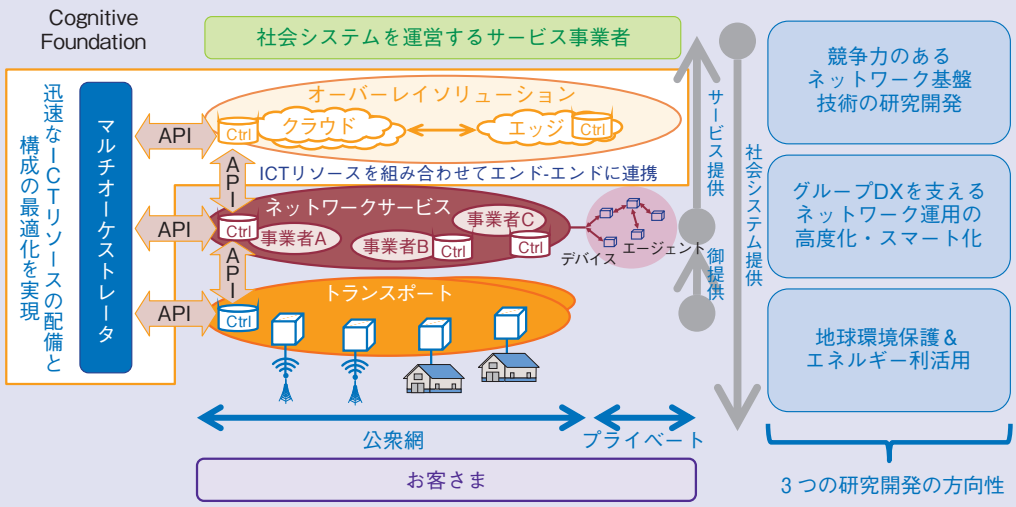


図　Cognitive Foundation®の概要

Smart City，MaaS（Mobility as a Service），FinTechなどの新たなデジタルサービスをサポートする必要性が高まっています．DXを支える新たなネットワーク基盤の検討を進めるにあたって，研究所間にまたがる新たな所間連携の特別検討体制を立ち上げました．本体制を基にして，市場を立ち上げることを目的にユースケースを題材にしつつ技術検討を進めています．

以下では，将来のデジタル社会を支えるCognitive Foundationの開発方針である，①競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発，②グループDXを支えるネットワーク運用の高度化・スマート化，③地球環境保護&エネルギー利活用について，その方向性と具体的な研究開発成果を紹介します．

3つの研究開発の方向性

■競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発

1番目の研究開発の方向性は，高速・大容量化，接続性の高度化，低コスト化など，さまざまなネットワーク基盤技術の確立に向けた取り組みです．多様な観点からネットワークの利用価値を向上させていくことで，サービス事業者やサービス利用者にとって魅力あるネットワークの継続的な提供に貢献していきます．具体的には，光アクセス装置の一部をソフトウェア化することで次世代通信規格「5G」などさまざまな用途に入れ替えられる技術であるFASA®（Flexible Access System Architecture）や，特に都市部のような衛星信号の受信環境が芳しくない場合であっても位置計測精度を大幅に向上でき，また多彩な応用サービスへの展開も考えられるGNSS（Global Navigation Satellite Systems）測位技術などに取り組んでいます．

■グループDXを支えるネットワーク運用の高度化・スマート化

2番目の研究開発の方向性は，サービスの多様化に対して極力人手をかけずに迅速に対応していくためのネットワークの自動運用や社会インフラの保全への展開も視野に入れた，NTTグループのDXを支えるネットワーク運用の高度化・スマート化技術の確立に向けた取り組みです．AI技術の活用による運用の高度化や稼動効率化など，さまざまなネットワーク運用技術を実現していくことで，各産業における多様なサービス需要に迅速にこたえるネットワーク提供に貢献していきます．具体的には，さまざまな事業者や産業の垣根を越えてサービスやICT・ネットワークリソースを連携させる技術や，光伝送網における故障発生時の迅速な設備復旧を実現するための故障検知・分析・復旧技術などに取り組んでいます．

■地球環境保護＆エネルギー利活用

3番目の研究開発の方向性は，SDGs（Sustainable Development Goals）が描く持続可能な社会の実現のため，脱炭素化をはじめとする地球環境に配慮したレジリエントなネットワークインフラの整備技術の確立をめざします．クラウドネイティブなネットワークにおける抜本的な省エネルギー化および給電ネットワークの仮想化を軸に自律的なエネルギー制御を実現していくことで，社会の脱炭素化および新たなエネルギー流通ビジネスに貢献していきます．具体的には，まずは機械室内装置配置の最適設計などによる抜本的な省エネ化の実現に取り組

表　3つの研究開発の方向性と具体的な取り組み技術

3つの研究開発の方向性	具体的な取り組み技術
競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発（4月号掲載）	新アクセスシステムアーキテクチャ：FASA®
	GNSSとネットワークの連携による高付加価値位置情報サービス
	高臨場VRサービスを実現するキャリアエッジコンピューティング基盤技術
	幅広い要件に迅速にこたえるネットワークスライシング技術
	双方向通信型アプリケーションの体感を向上させる最大ネットワーク遅延保証技術
	ネットワークリソースの最適設計・制御技術
	体感品質を制御する映像配信技術
	映像転送を支えるデータストリームアシスト技術
	AIを用いたデバイスごとのポリシー制御技術
	パスワードレスでの利用資格の共有・委譲技術
	モノづくりを革新する光ファイバ・光デバイス技術
	無線LAN電波を活用した鳥獣検知システム
グループDXを支えるネットワーク運用の高度化・スマート化（5月号掲載）	ICT/ネットワークリソース・サービス連携技術
	ルール学習型障害箇所推定技術
	ディープラーニングに基づく異常検知技術－DeAnoS: Deep Anomaly Surveillance－
	復旧コマンド列自動生成技術
	光伝送網における故障個所特定技術
	業務ナビゲーション技術
地球環境保護＆エネルギー利活用（5月号掲載）	通信機械室の環境最適化技術

んでいます．

これらの研究開発の方向性にかかわる具体的な取り組み技術を**表**に示します．本特集ではそれら各技術についての取り組み詳細を2号にわたり紹介します．

■参考文献

⑴　川添：“中期経営戦略の実現に向けて，“R&D for Smart World”の取り組みを加速，” BUSINESS COMMUNICATION, Vol.56, pp.34-37, 2019.

（左から）辻　ゆかり／立元　慎也／小林　正樹

将来のデジタル社会を支えるネットワーク技術の実現に向けて，NTTネットワーク基盤技術研究所，NTTネットワークサービスシステム研究所，NTTアクセスサービスシステム研究所は研究開発を進めていきます．

◆問い合わせ先
NTT情報ネットワーク総合研究所
TEL　0422-59-2033
FAX　0422-59-5600
E-mail　injousen-pb@hco.ntt.co.jp

新アクセスシステムアーキテクチャ：FASA®

栩野（とちの） 貴充（たかみつ）/西本（にしもと） 恵太（けいた）
秦野（はたの） 智也（ともや）/浅香（あさか） 航太（こうた）
可児（かに） 淳一（じゅんいち）/寺田（てらだ） 純（じゅん）
NTTアクセスサービスシステム研究所

NTTアクセスサービスシステム研究所では新アクセスシステムアーキテクチャ「FASA®（Flexible Access System Architecture）」を提唱し，アクセスシステムを構成する機能の部品化について研究開発を進めてきました．本稿では，その研究開発成果として2018年11月に報道発表し，NTT R&Dフォーラム2018（秋）で出展した，DBA（Dynamic Bandwidth Allocation）機能のソフトウェア部品化技術について紹介します．

背　景

NTTアクセスサービスシステム研究所では2016年２月に将来光アクセスシステムの新コンセプト「FASA®（Flexible Access System Architecture）」を発表し，研究開発を進めてきました[1]．FASAではアクセスシステムを構成する機能を徹底的に部品化し，それらを自由に組み合わせ可能にすることで，サービス要件に応じて柔軟かつ迅速に機能を入れ替えられる光アクセスシステムの実現をめざしており，競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発に取り組んでいます．

現在広く普及しているアクセスシステム「PON（Passive Optical Network）システム」は，光分岐器（光スプリッタ）を介して１心の光ファイバを複数ユーザで共有するポイントツーマルチポイント型のネットワーク構成をとっており，通信帯域を複数ユーザで分け合います．この，PONシステムの性能をつかさどる機能としてDBA（Dynamic Bandwidth Allocation）機能があります．DBA機能はユーザの帯域要求に合わせて動的に帯域を割り当てます．

NTTアクセスサービスシステム研究所では，PONシステムのDBA機能を自由に入れ替えることで，光アクセスシステムを多様なサービスに適用できると考え，DBA機能のソフトウェ

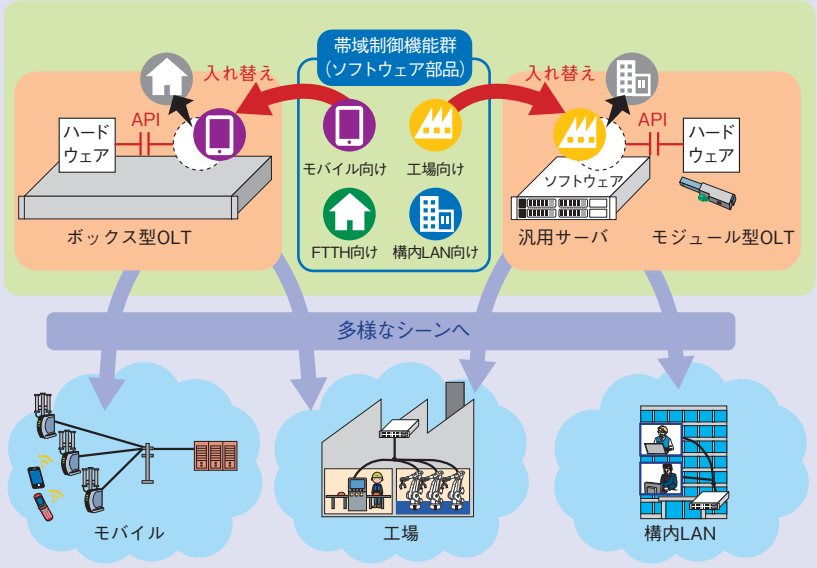


図　DBA機能のソフトウェア部品化

ア部品化技術を確立するとともに，同機能を組み込み可能な2つのOLT（Optical Line Terminal）構成モデルを提案し，それぞれのOLT構成モデルでDBA機能のソフトウェア部品化が可能になるよう研究を進めてきました（**図**）.

DBA機能のソフトウェア部品化技術

DBA機能は，変動するユーザの帯域要求に応じて各ユーザへの帯域割り当てを行うため，サブミリ秒オーダでの高速な処理を必要とします．高速な処理を実現しながら自由な入れ替えを可能にするために，DBAの機能部をサービスに依存しない高速処理部と，サービスごとに仕様の異なるアルゴリズムとに部品化し，前者をハードウェア部に，後者をソフトウェア部に実装しました．また，ソフトウェア部とハードウェア部のインタフェースをAPI（Application Programming Interface）*として定義したうえで，標準化団体Broadband Forumでの標準化を推進し，2018年に完了しました.

その結果，DBA機能は高速な処理を実現しながらも，サービス要件に応じて機能を入れ替えることが可能となりました.

2つのOLT構成モデルとAPIの実装

PONシステムを多様な利用シーンで利用可能とするために，2つのOLT構成モデルを定義し，それぞれの構成モデルにあったOLTをプロトタイプ検証機として開発しました.

1番目はボックス型OLTです．これは，通信事業者の収容局内などの環境下で用いることを想定しており，従来のFTTH（Fiber To The Home）サービスに加え，5Gモバイルシステムなどへの適用が期待できます．2番目はモジュール型OLTです．これは，従来のOLTの機能のうち，ハードウェアによる実現が必須となる機能のみを小型のモジュールに収めたもので，ソフトウェア部品化されたOLT機能が格納された汎用サーバとの組み合わせにより，工場および大学・オフィスビル内などの構内LANなどへの適用が期待できます.

いずれのOLT構成モデルも上記APIを実装することで，利用シーンに応じたDBA機能を入れ替え可能になり，サービス要件に応じてハードウェアレベルから大幅に装置をつくり直すことなく，光アクセスシステムの適用領域を拡充できるようになりました.

今後の展開

今後は，世界中のキャリア・システムベンダ・標準化団体・オープンソースソフトウェア団体と協調し，DBA機能以外のソフトウェア部品化に取り組む予定です．これにより，光アクセスシステムをより多様なサービスに適用していくことをめざしています.

■参考文献

(1) http://www.ntt.co.jp/news2016/1602/160208a.html

（左から）可児　淳一/ 秦野　智也/
栩野　貴充/ 浅香　航太/
寺田　　純/ 西本　恵太（右上）

私たちはFASA®を通じて，新たな機能を柔軟かつ迅速に組み込むことができるアクセスネットワークシステムを構築するという観点から，競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発に取り組んでいます.

◆問い合わせ先
NTTアクセスサービスシステム研究所
光アクセス基盤プロジェクト
光アクセス基盤SEグループ
TEL　046-859-4958
FAX　046-859-5513
E-mail　fasa-support-ml@hco.ntt.co.jp

＊ API：部品間で情報をやり取りするためのインタフェース仕様.

GNSSとネットワークの連携による高付加価値位置情報サービス

NTTネットワーク基盤技術研究所ではデジタルトランスフォーメーション（DX）を加速するSmart Worldの実現へ向け，GPSをはじめとするGNSS（Global Navigation Satellite Systems）を使用した測位において，高層の建造物が林立するアーバン・キャニオン環境での測位精度向上技術を開発するとともに，測位演算処理の一部をクラウド・エッジ上で行うことで測位性能の抜本的な向上と新たな付加価値を実現する技術開発に取り組んでいます．

よしだ せいじ　きりはら たかひと
吉田 誠史 /桐原 誉人
つぼい しゅんいち　とよの つよし
坪井 俊一 /豊野 剛
くわはら たけし
桑原 健

NTTネットワーク基盤技術研究所

背　景

GPSは1990年代からカーナビをはじめとする民生用途に使用され，今日GNSS（Global Navigation Satellite Systems：全地球航法衛星システム）による測位はスマートフォンを含む幅広いアプリケーションに活用されています．国内では2018年11月から「日本版GPS」である準天頂衛星システムの本格運用が開始され，補強信号を使用した高精度（精密）測位が大きな関心を集めています．

NTTネットワーク基盤技術研究所ではデジタルトランスフォーメーション（DX）を加速するスマートな社会（Smart World）の実現へ向け，GNSSとネットワーク・クラウドのシナジーにより位置計測の分野において新たな付加価値を創造することをめざした研究開発を行っています．

航法衛星信号により理想的には地球上のどこでも高精度な測位を実現することができますが，実際の測位精度は衛星信号の受信環境に大きく影響されます．この課題はこれまで主にGNSSレシーバの性能向上により解決が試みられてきましたが，あらゆるデバイスがネットワークにつながるIoT（Internet of Things）の実現を前提とし，クラウド・エッジにGNSS測位演算処理の一部を担わせることによって抜本的な課題解決を図るとともに，位置情報に新たな付加価値を与えることが本取り組みの目的です．

GNSS測位の機能配備多様化とクラウドGNSS測位アーキテクチャ

GNSS測位は**図1**に示すように多様なアプリケーションで使用されます．自動走行車等の高速移動体では高頻度な測位が求められる一方，測量では静止状態で高い測位精度が求められます．スマートフォンやカーナビでは数メートルの測位精度が得られるコード測位（Code-based positioning）*1方式が使用され，測量ではセンチメートル級の測位精度を実現する搬送波位相測位（Carrier-phase based positioning）*2方式が使用されています．搬送波位相測位では波数アンビギュイティ（Wave-number ambiguity）*3の解決のために高度な演算処理が必要になります．これまではコード測位方式に対応した汎用的なGNSSレシーバ製品と搬送波位相測位方式に対応した特殊用途向けのハイエンドなGNSSレシーバ製品はアプリケーションに応じて使い分けられていました．現状では搬送波位相測位方式に対応したレシーバ製品は高コストであり，適用領域拡大の阻害要因になっています．さらに，アプリケーションには測位精度や頻度だけでなくコストや省電力性能といったさまざまな要件があり，レシーバチップ（ハードウェア）でこうした多様な要件をカバーするのは難しくなっています．

クラウドGNSS測位アーキテクチャでは測位演算の機能配備の一部をクラウド側に移すことによって測位点では低コストの汎用的なGNSSレシーバを使用し，測位方式の違いやアプリケーションによる測位性能の要件の違いは基本的にクラウド側の処理で吸収します．つまり単一のレシーバで「マルチグレード」な測位を実現することをめざす新しいGNSS測位のアーキテクチャです（図1）．最終的な測位演算処理は測位点のGNSSレシーバの内部

*1　コード測位：航法衛星信号の受信位置への到達時間の計測において衛星に固有のコード信号を使用する通常のGNSS測位の方式です．
*2　搬送波位相測位：航法衛星信号のコード信号に加え，搬送波の位相情報を観測することによる精密測位方式です．条件の良い場合には1 cm以下の精度での精密測位が可能です．
*3　波数アンビギュイティ：受信点までの航法衛星信号の搬送波の波数が未知であることです．

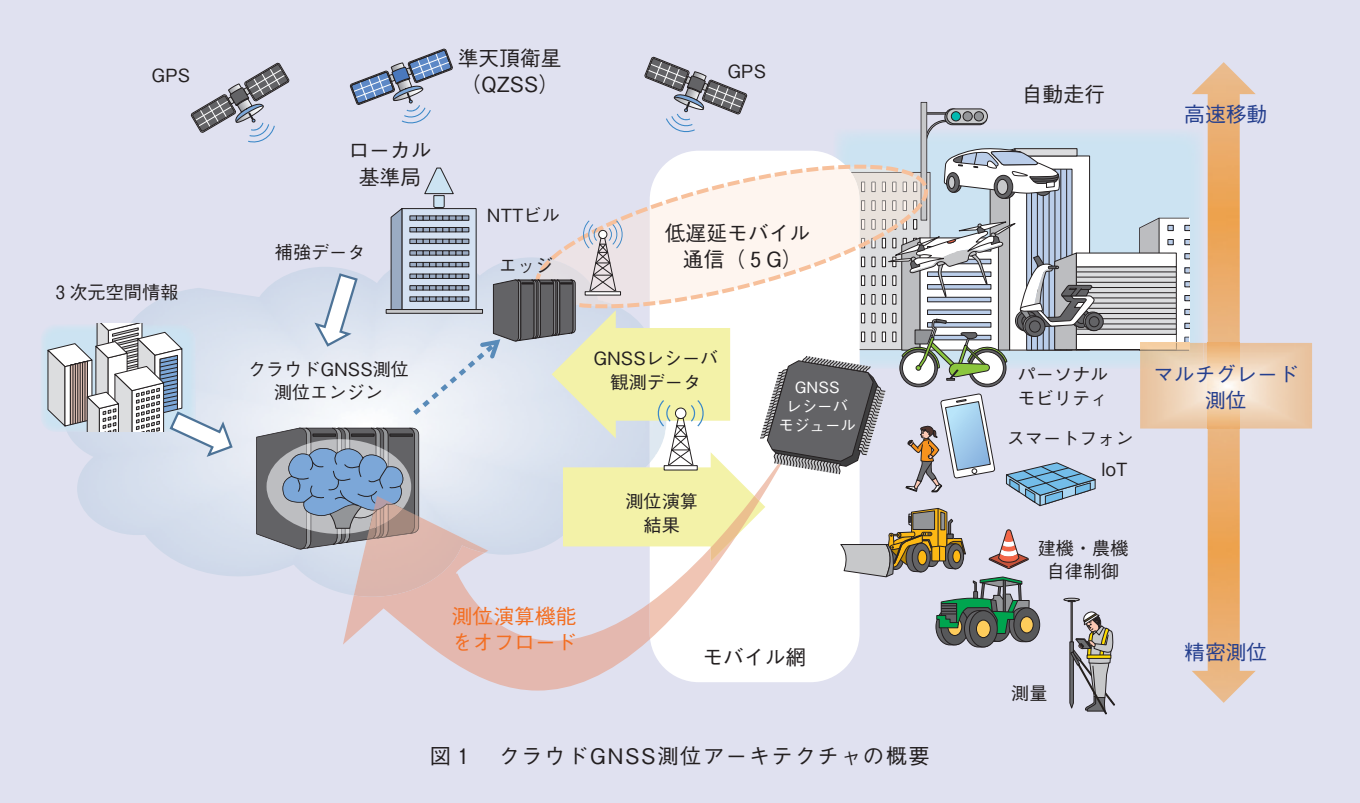


図1　クラウドGNSS測位アーキテクチャの概要

ではなく，レシーバから転送された観測データ（Observation data）*4を使用してクラウド側で行い，測位演算結果（座標値）が測位点に返送されます．

本アーキテクチャではクラウド・エッジ上のCPU・GPUを基盤とした潤沢なコンピューティング・リソースを活用し，衛星選択処理を含む高度な測位演算処理を行います．搬送波位相測位では初期測位演算時間を大幅に短縮するだけでなく，NTTビルのローカル基準局を含むさまざまな補強信号をシームレスに選択することができるメリットがあります．また，2次元地図や3次元の建物データ等の地理空間情報やAI（人工知能）や機械学習などの手法をGNSS測位へ適用するといった，これまでにないアプローチも考えられます．さらにはクラウド上での位置情報を活用した多様なアプリケーションとの高度な連携も考えられます．

観測データの出力に対応した汎用的なGNSSレシーバ製品は最近増加しており，一部の製品は複数の周波数帯（マルチバンド）に対応しています．また，スマートフォンではAndroid OS バージョン7から一部の端末において内蔵のGNSSレシーバの観測データをAPI（Application Programming Interface）で取得できるようになり，今後，対応端末が拡大することが期待されます．

GNSSとネットワークのシナジーとしてはA-GNSS（Assisted GNSS）*5が携帯電話やスマートフォンなどに導入されていますが，本アーキテクチャはさらに高度な両者のシナジーと位置付けることができます．従来，GNSSレシーバチップセットの内部で行われていたGNSS測位演算処理が今後はクラウド・エッジ以外にもスマートフォンのアプリケーションや車載プロセッサ等で実行され，測位演算の機能配備の形態が多様化することが想定されます．私たちは今後の動向を見据え，適用領域に応じた最適な機能配備を柔軟に実現することをめざしています．

Smart Mobilityへの適用事例

クラウドGNSS測位アーキテクチャのSmart Mobilityへの適用事例として走行車両の位置計測のユースケースを紹介します．

高層の建造物が林立し，道路が碁盤目状に近接するアーバン・キャニオン受信環境では衛星信号を見通し状態で受信できる開空間が制限され，衛星信号が建物で反射・回折したマルチパス信号を受信することによって測位精度が大幅に劣化します．東京・丸の内の

*4　観測データ：GNSSレシーバの測位演算における疑似距離および搬送波位相計測の結果の情報です．Raw data（生データ）とも呼ばれます．
*5　A-GNSS：モバイル網を経由して航法衛星の軌道情報を短時間に配信する方式です．

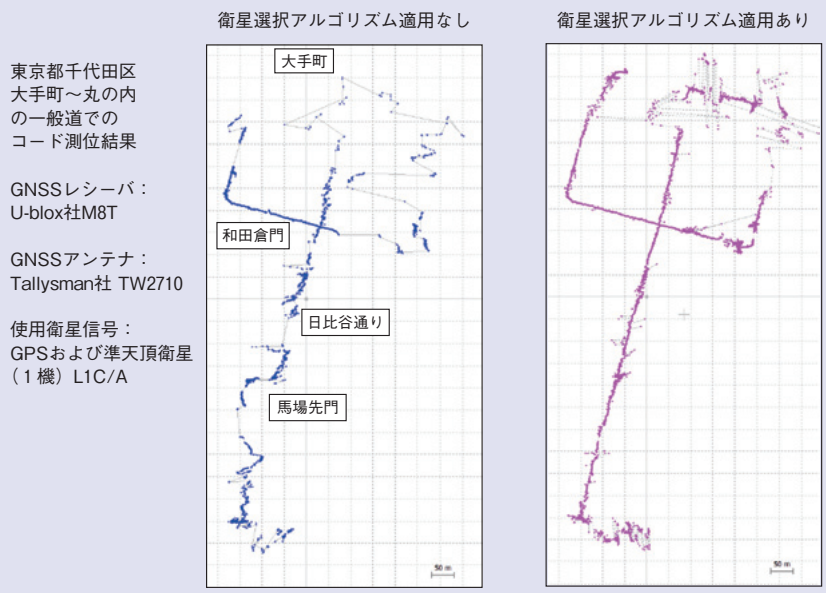


図2　衛星選択アルゴリズムの適用効果（コード測位）

一般道においてカーナビ等で使用される汎用的なシングルバンドのGNSSレシーバによって収集した，GPSおよび準天頂衛星信号の観測データを使用して後処理によるコード測位演算を行った結果を**図2**に示します．従来では道路から大幅に外れていたポイントでも，私たちが独自に開発した，受信した衛星信号から測位に適した衛星信号を選択する「スマート・サテライト・セレクション」*6アルゴリズムを適用することによって測位精度が大幅に改善することを確認しました[1]．衛星選択に要した時間は今回使用した検証環境においては1つの測位点あたりわずかに5ミリ秒程度でした．

自動走行車の制御はレーザ，ライダ，オドメトリ，ジャイロ，加速度センサやダイナミックマップと車載カメラを使用した複合的な制御が見込まれますが，GNSS測位ではレーン判定が可能な精度が要求されます．上記のシングルバンドのGNSSレシーバによって首都高速都心環状線で収集したGPS衛星の観測データを使用し，後処理で搬送波位相測位（VRS-RTK）演算を行った結果においても私たちの衛星選択アルゴリズムの適用により収束（FIX）解が得られる割合（FIX率）が向上する効果が確認されました．FIX解では数10 cm以下の測位精度が得られていると想定されるため，レーン判定だけでなくレーン内の車両の位置を把握できる可能性があります．トンネルや橋梁などで一時的にGNSS衛星信号をロストした際の再FIXに要する初期測位演算時間も10秒以下であり，マルチバンドのGNSSレシーバを使用した場合にはさらに大幅に短縮できる見込みです．1秒間に10回程度の高頻度な測位を行う場合には図1に示すように測位エンジンをエッジに配置し，URLLC（Ultra-Reliable and Low Latency Communications）等の5G低遅延モバイル通信を適用することが考えられます．本アーキテクチャの適用は自動走行の普及に向けて課題となる車載設備のコスト低減にも貢献します．

*6　スマート・サテライト・セレクション：NTTが独自に開発したGNSS衛星信号の選択アルゴリズム技術で遅延の大きい不可視衛星のマルチパス信号を選択的に排除します．

今後の展開

Smart Mobilityの分野ではC-V2X（Celluler-Vehicle to X）等の通信手段を備えたコネクティッドカーが普及し，車車間（V2V: Vehicle to Vehicle），路車間（V2I: Vehicle to Infrastructure）で低遅延，広帯域な通信が実現される可能性があります．人と車の位置を包括的に把握することで見通しの悪い交差点における歩行者・自転車位置の把握，配車サービスにおける乗客の位置把握，路線バス運行の効率化，バリアフリーマップの作成などの幅広い領域への適用が期待されます．さらにはイベント，災害時の輸送にも適用できる可能性があります．こうした位置情報サービスとの高度な連携も含めた，高精度測位技術の適用へ向けた検討を行っていきます．

■参考文献

(1) http://www.ntt.co.jp/news2018/1810/181023a.html

GNSSによって実現されるセンチメートル級の測位には新しい産業領域を創出する大きな可能性があります．NTT研究所では技術の確立だけでなく適用領域の検討も合わせて推進していきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
コグニティブファウンデーションNWプロジェクト
TEL　0422-59-3013
FAX　0422-59-6364
E-mail　nt-kensui-ml@hco.ntt.co.jp

高臨場VRサービスを実現するキャリアエッジコンピューティング基盤技術

岩澤 宏紀（いわさわ ひろき）/浦田 悠介（うらた ゆうすけ）/玉置 真也（たまき しんや）
川上 健太（かわかみ けんた）/中原 悠希（なかはら ゆうき）/小野 孝太郎（おの こうたろう）
石橋 亮太（いしばし りょうた）/桑原 健（くわはら たけし）

NTTネットワーク基盤技術研究所

NTTネットワーク基盤技術研究所では，通信事業者設備の計算資源を活用したエッジコンピューティングの技術検討を進めています．本稿では，VR（Virtual Reality）アプリケーションをエッジコンピューティング基盤経由で提供するユースケースについて，凸版印刷株式会社と共同で取り組んでいる技術実証の内容を紹介します．

背　景

現在，クラウドでアプリケーションを動作させてさまざまなサービスを提供するクラウドコンピューティングが広く利用されています．クラウドコンピューティングは，ユーザがサーバ等の計算リソースを管理する必要がなくなるメリットがある一方で，ユーザとクラウドとの間にさまざまなネットワークが存在するため，クラウドサーバとの距離や各ネットワークにおける通信帯域の制約・品質変動の影響を受けやすく，安定して低遅延・広帯域なサービスを提供することが難しいという課題があります．

そこで，ユーザ近傍にサーバ等の計算リソースを配置し，サービスを提供するエッジコンピューティングが近年注目されています[(1)]．NTTネットワーク基盤技術研究所（NT研）では，エッジコンピューティングの中でもユーザ近傍に位置する通信事業者の設備（通信ビル等）に計算リソースを設置する方式の技術検討を進めています．これにより，クラウドでは困難であった低遅延性・広帯域性を持つ新たなサービスを提供することをめざしています．

本稿では，エッジコンピューティングの有望なユースケースとして，低遅延性が求められるアプリケーションであるVR（Virtual Reality：仮想現実）について，凸版印刷株式会社と共同で取り組んでいる技術実証の内容を紹介します．

高臨場VRサービスを実現するエッジコンピューティング基盤技術

VRアプリケーションは，あらかじめ生成された映像を視聴するタイプ（360度視点動画等）と，ユーザの視点移動や操作に合わせて3D映像をリアルタイムに生成するタイプに大別できます．

あらかじめ生成された映像を視聴するタイプでは，仮想空間内を自由に移動したり，物体を動かしたりすることはできない制約があります．

一方，3D映像をリアルタイムに生成するタイプは，GPU（Graphics Processing Unit）等のプロセッサでHMD（Head Mounted Display）の位置・向き等のセンサ情報に対応した映像をリアルタイムに生成することにより，仮想空間内での移動や物体操作が自由に行える特徴があります．このタイプのVRの中でも特に高品質（高精細，高フレームレート）なものは，電子カタログに適用できると考えられます．VRを用いた電子カタログでは，例えば自動車販売店やハウスメーカ，各種ショールーム等において，仮想空間上で商品のパーツ・色・模様などを変化させてユーザに体験してもらうことができます．本稿ではこのような電子カタログをはじめとした高品質VRをターゲットとしています．

3D映像をリアルタイムに生成するタイプでは，VR酔いを回避するために，ユーザが端末を操作してから，3D映像が端末の画面に表示されるまでの一連のプロセスを極めて短時間（例：数10 ms）に完了させる必要があります[(2)]．そのため，従来このタイプはネットワークを介さずローカル端末で提供されてきました．しかし，スタンドアロン型のHMDやスマートフォン単体では高品質化が難しく，また，高性能なGPUを搭載した専用PCは，設備や運用面でコストが高くなる課題があります．そこで，エッジコンピューティングを活用することで，ユーザごとに高性能な専用PCを管理することなく，遠隔でも低遅延で高品質なVRの提供が可能になります．

今回の共同実験では，凸版印刷が持つ住宅展示場向けVRアプリケーションをNTTのエッジコンピューティン

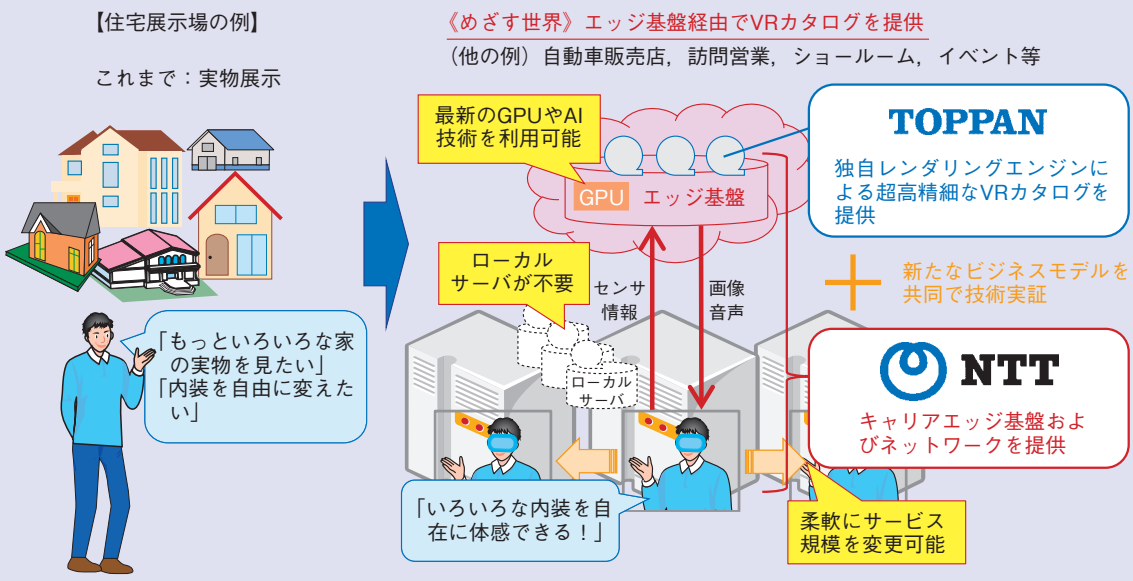


図　凸版印刷とのエッジコンピューティングを活用したVRデジタルカタログユースケース共同検討の概要

グ検証基盤で動作させ，スマートフォン端末のセンサ情報に基づいた映像をエッジコンピューティング基盤でリアルタイムに生成し，それらの映像データを端末へ配信する検証を行いました．本検証により，凸版印刷の保有する高品質なVR対応型電子カタログアプリケーションを，ネットワークを介した遠隔のエッジコンピューティング基盤経由で提供可能であることを確認しました（**図**）．

また，VR映像に特化したトラフィック制御による遅延揺らぎの抑制など，サービス高品質化に向けた独自の技術についても検証を行いました．

エッジコンピューティング基盤の研究開発

NT研は，VRをはじめとするエッジコンピューティングアプリケーションのみならず，その効率的な設備構築・増減設，高い運用性を低コストでサポートするエッジコンピューティング基盤の研究開発にも取り組んでいます．その一環としてNT研では，Linux Foundation配下のOSS（オープンソースソフトウェア）プロジェクト「Akraino」に参画しています[(3),(4)]．

Akrainoは，通信キャリアのみならず，さまざまな企業や業界が取り組んでいるエッジコンピューティングをエッジ固有のユースケースごとの要求条件や制約条件に合わせ，業界のベストプラクティスであるOSS技術の組合せにより実現するプロジェクトです．オープンコミュニティによって，グローバルなパートナーと共同で取り組むことで，スピーディでかつ効率的にエッジコンピューティングの研究開発を進めつつ，グローバルなエコシステムの構築にも取り組んでいます．

今後の展開

引き続き凸版印刷と共同で，超低遅延かつ高品質なVRサービスを，柔軟に提供できるエッジコンピューティング基盤の実現をめざします．

■参考文献

(1) Y. C. Hu, M. Patel, D. Sabella, N. Sprecher, and V. Young: “Mobile Edge Computing - A key technology towards 5G,” ETSI White Paper No.11, 2015.
(2) https://www.twentymilliseconds.com/post/latency-mitigation-strategies/
(3) http://www.ntt.co.jp/topics/akraino/index.html
(4) https://www.akraino.org/

（後列左から）川上　健太/ 小野　孝太郎/ 桑原　健/ 石橋　亮太
（前列左から）玉置　真也/ 岩澤　宏紀/ 中原　悠希/ 浦田　悠介

NT研では引き続き，超低遅延かつ高品質なVRサービスを柔軟に提供できるエッジコンピューティング基盤の実現をめざします．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
コグニティブファウンデーションNWプロジェクト
TEL　0422-59-4949
FAX　0422-59-6364
E-mail　hiroki.iwasawa.hs@@hco.ntt.co.jp

幅広い要件に迅速にこたえるネットワークスライシング技術

5G時代に向け，大容量ブロードバンド，大量セッション接続，超低遅延高品質等の特性を持つネットワークを活用した多様なサービスの創出が想定されています．本稿では，これらの多様なサービス要件に応じた仮想ネットワークを迅速に構築・提供するためのネットワークスライシング技術と，End-to-Endで一定の通信品質が確保できるEnd-to-Endスライス実現に必要なスライスゲートウェイ技術について紹介します．

さとう　たくや　　おかだ　ともひろ
佐藤　卓哉　/岡田　智広
ほんま　しゅんすけ　　にしはら　ひでたか
本間　俊介　/西原　英臣
NTTネットワークサービスシステム研究所

背　景

5G時代には，5Gの特長である大容量ブロードバンド，大量セッション接続，超低遅延高品質などを活用したさまざまな新しいサービスの創出が期待されていますが，それらの新しいサービスを実現するためにはさまざまなサービス要件に応じた多様なネットワークが必要となります．そのような要求に対して迅速かつ柔軟にネットワークを提供することが課題となっています．

ネットワークスライシング技術

ネットワークスライシング技術は共通の物理基盤上にネットワークスライス（スライス）と呼ばれる要件の異なる仮想ネットワークを複数同時に構築・運用する技術です．物理的な設備を仮想的に分割可能な資源として管理し，それらを自在に組み合わせて必要な仮想ネットワークを構築します．従来の通信ネットワークは，高価な専用装置を用いており，構築等に時間を要しましたが，スライスでは比較的安価な汎用装置を用いて，設定を入れ替えることによってさまざまなサービスを迅速に提供できます．

本技術は5G時代のネットワークを支える技術として期待されています．NTTでは本技術を活用することで，サービスパートナーのそれぞれのニーズにあった要件のネットワークを迅速に提供することをめざしています．

スライスゲートウェイ技術

サービスパートナーが求める多様な要件のネットワークを提供するためにはEnd-to-Endで一定の通信品質が確保できるEnd-to-Endスライス（E2Eスライス）が必要です．しかし，E2Eスライスを実現するためには，各々の異なったルールで管理されている複数の事業者網をまたいだ状態でスライスの構築や運用を行う必要があり，それが大きな課題となっています．NTTではその課題解決に向けて事業者網間の接続点にスライスゲートウェイ（SLG）を配備するアーキテクチャを提案しています（**図1**）．スライスゲートウェイはプロトコル変換やトラフィック振り分け，スライス間アイソレーション等のスライスのデータプレーンに求められる機能を提供します．網間の接続点部分に配備されたスライスゲートウェイが，それぞれの網の仕様に合わせた適切な変換などを行うことによって，仕様の異なる複数の網をまたいでスライスを運用することができるようになります．

現在，NetroSphere-PIT[(1)]の検証環境上にオープンソースソフトウェア（OSS）を利用してスライスゲートウェイを実装し，実証試験を進めています．スライスは，基盤ネットワークの仕様に応じて任意のプロトコルを用いて構築することが可能です．私たちは新技術であるSRv6（IPv6 Segment Routing）を用いたスライス構築の検討を進めています．SRv6はIPv6ネットワーク上で動作させることができ，セグメントルーチングによる経路制御が可能です．また，スライスにはさまざまな付加機能を盛り込むことができます．私たちは遅延保証[(2)]の付加機能を盛り込んだE2Eスライスを構築することによって，通信遅延の影響を受けやすい双方向型アプリケーションなどにおいてより良いユーザ体験を提供できることを確認しています．さらにそれらのスライスの構築や切り替え，テレメトリ技術によるスライスの運用状況確認等が実施可能なGUIのプロトタイプも開発しました（**図2**）．前述の成果についてはNTT R&Dフォーラム2018（秋）において動態デモの展

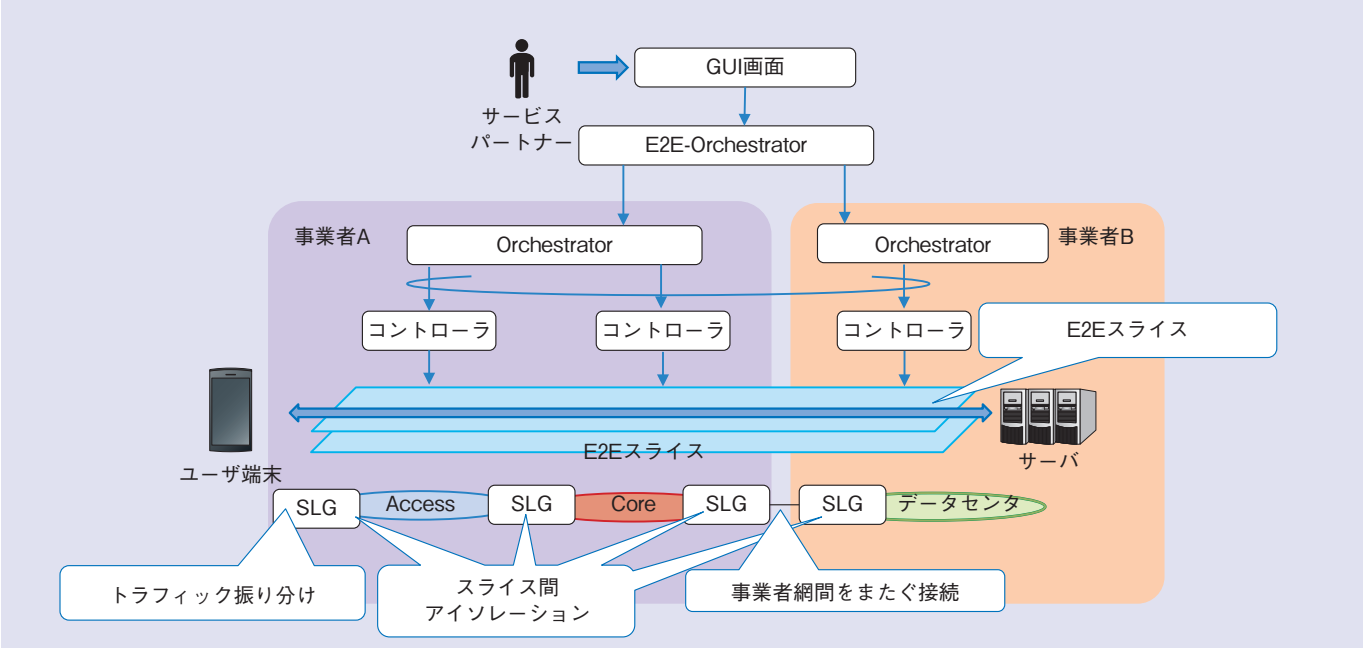


図1　提案アーキテクチャの概要

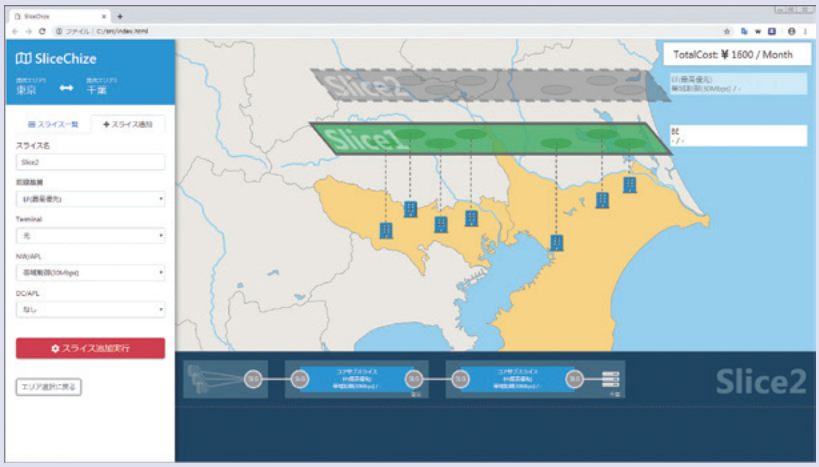


図2　スライス管理GUI画面

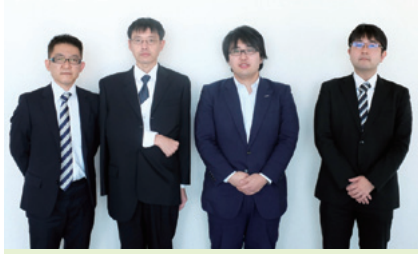
示を行い，GUI画面から簡単な操作を行うだけでスライスの制御が行えることをサービスパートナーの皆様にも体験いただきました．

今後の展開

商用化を見据えた実証実験などを計画しており，それらの実施結果をフィードバックすることによってネットワークスライシング技術およびスライスゲートウェイ技術の精錬化を進めます．また，本技術の市販製品，デファクトOSSへの搭載を目標にグローバル標準化を推進します．

■参考文献

⑴ 奥谷・川端・小谷・山田・丸山："Netro-Sphere構想加速に向けた実証（NetroSphere-PIT）の取り組み," NTT技術ジャーナル，Vol.28，No.8，pp.11-14，2016.
⑵ 福井・坂上・南："双方向通信型アプリケーションの体感を向上させる最大ネットワーク遅延保証技術," NTT技術ジャーナル，Vol.31，No.4，pp.22-23，2019.



（左から）岡田　智広／佐藤　卓哉／
西原　英臣／本間　俊介

NTTでは多様なニーズに柔軟かつ迅速に対応可能なネットワークを実現するために，ネットワークスライシング技術の発展にこれからも取り組んでいきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワークサービスシステム研究所
転送サービス基盤プロジェクト
TEL　0422-59-4431
FAX　0422-59-7460
E-mail　takuya.satou.up@hco.ntt.co.jp

双方向通信型アプリケーションの体感を向上させる最大ネットワーク遅延保証技術

双方向通信型アプリケーション・システムでは，ネットワーク遅延を一定量以下に抑えることにより操作体感が向上します．ただし，帯域保証サービスで利用されている従来の帯域ベースシェーピング方式を利用すると，バーストトラフィックの平準化により大きなネットワーク遅延が発生し操作体感が劣化します．そこで，本稿では最大ネットワーク遅延を保証するための技術として，要求遅延量を考慮した新たなシェーピング方式を提案します．

福井 達也（ふくい たつや）/坂上 裕希（さかうえ ゆうき）
南 勝也（みなみ かつや）
NTTアクセスサービスシステム研究所

背　景

近年，双方向通信型アプリケーション・システムが広まりつつあります．例えば，遠隔で重機を操作し工事を行うシステムです．このようなシステムでは，操作信号を遠隔地の重機に対してネットワークを介して送信し，その操作信号に従って重機が動作します．操作者は重機に設置されたカメラ映像を遠隔地から受信し確認することにより，操作どおりに重機が動作したことを認知します．操作者が操作を実施してからカメラ映像を確認するまでの時間が，操作体感に強く影響を与えることとなります．遠隔操作の場合，ネットワークの通信遅延が体感を劣化させる大きな要因です．このネットワーク遅延を小さくすれば操作体感は向上しますが，許容できる遅延要件が存在します．カメラ映像の１フレーム時間内で遅延が発生した場合ではカメラ映像表示に影響は与えません．また，２フレーム時間内の遅延が発生した場合でも，筆者の経験上，人が認知できずに操作体感が劣化しない場合も存在します．このように，双方向通信型アプリケーションといえども必ずしも低遅延でなければならないということはなく，一定の遅延許容幅が存在します．その他の例としては，VR（Virtual Reality），eSports，リモートデスクトップ等が存在します．

ネットワーク遅延保証技術

そこで本稿では，必ずしも低遅延ではなく要求された遅延量以下でネットワーク内をトラフィック転送する技術を提案します．従来は，前述のような通信をベストエフォートで送信した場合，他のトラフィックの影響を受け，許容以上のネットワーク遅延が発生することにより，操作体感が大きく劣化します．また，他のトラフィックの影響を受けないよう優先トラフィックとして扱う方法が考えられますが，必要以上に低遅延で転送することに加え，前述のような映像トラフィックはバースト転送が多いため，ネットワークへの負荷が大きいことが課題となります．これを解決するために，帯域保証サービスで利用されている従来の帯域ベースのシェーピング方式を適用すると，映像の平均レートよりも大きめの帯域設定であっても大きな遅延が発生し，やはり操作体感が大きく劣化してしまいます．なぜなら，映像トラフィックのバースト転送により瞬間的には設定帯域を超えたトラフィックが流れるため，このトラフィックを一定帯域にシェーピングするとネットワーク装置のバッファに滞留する時間が増加することにより，大きな遅延が発生するためです．

そこで本技術では，映像のようなバースト転送が存在した場合においても一定遅延内での転送を保証し，かつ，ネットワークへの負荷を最大限抑制します（**図**）．これにより，競争力のあるネットワーク基盤の実現に貢献します．

新たなシェーピング方式ではネットワークにトラフィックが流入する際に，到着したトラフィック量を常時計測し，あらかじめ設定された要求遅延量と最低限発生するネットワーク内のエンド・ツー・エンド経路遅延量を基にネットワーク内に送出するトラフィック量をリアルタイムに算出します．中継ネットワーク内ではベストエフォートトラフィックよりも優先送信することにより，一定遅延内での送信を可能とします．また，算出したトラフィック量に従い最大限トラフィックをシェーピングすることによりネットワーク負荷を低減することが可能です．本機能を試作し双方向通信型アプ

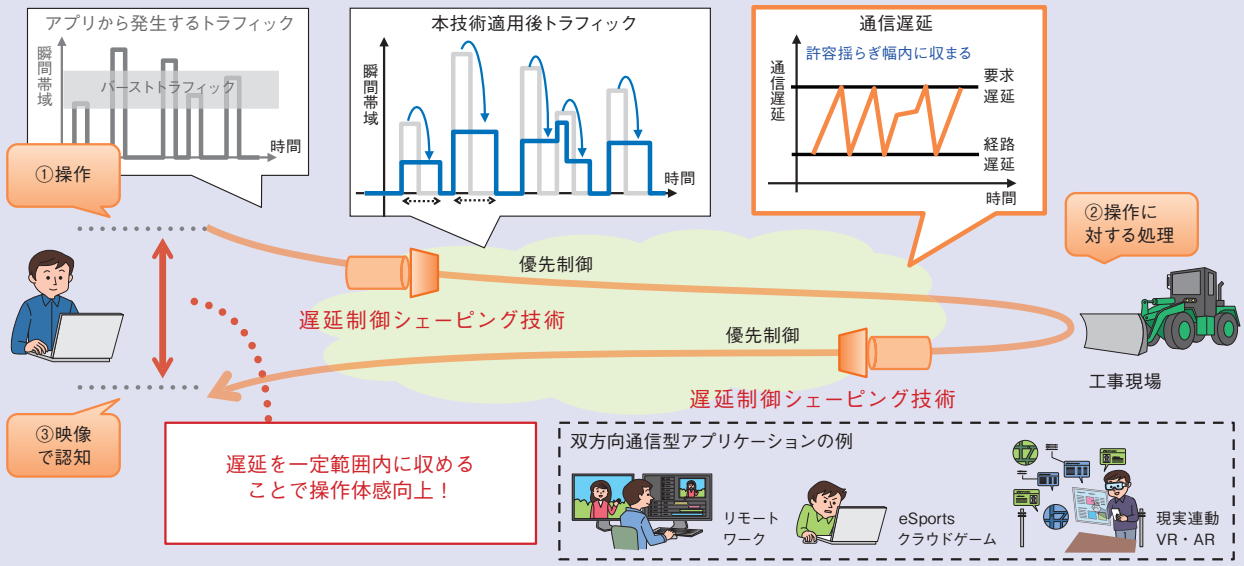
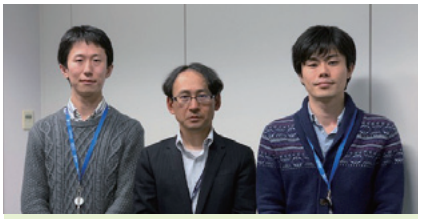


図　ネットワーク遅延保証技術

リケーションを利用して評価したところ，操作体感向上効果が得られることを示すことができました．

今後の展開

本技術の適用先は，映像配信サービスのような片方向で通信するアプリケーションではなく，操作に伴い遠隔で処理が実施されるような双方向通信型アプリケーションです．今後は本技術の適用により，操作体感が向上するアプリケーション・システムを広く調査，実証実験を進め，ネットワークサービス化をめざします．



（左から）福井　達也／南　勝也／坂上　裕希

ネットワーク遅延保証技術と双方向通信側アプリケーションが連携することにより臨場感のある新たなアプリケーション・ユーザ体感がつくり出されるのでは！？を現実にできるよう，本技術の研究活動を推進していきます．

◆問い合わせ先
NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセスサービスシステムプロジェクト
アクセスサービス推進グループ
TEL　0422-59-4853
FAX　0422-59-5651
E-mail　asap-info-ml@hco.ntt.co.jp

ネットワークリソースの最適設計・制御技術

奥田 兼三（おくだ けんぞう）/弘田 武志（ひろた たけし）
石塚 美加（いしづか みか）/金子 康晴（かねこ やすはる）
安川 正祥（やすかわ せいしょう）
NTTネットワーク基盤技術研究所

NTTネットワーク基盤技術研究所では，設備利用効率が高く，利便性の高いネットワークを実現することをめざし，さまざまな時間スケールで発生するネットワークの変化に柔軟に追従する技術の研究開発を行っています．本稿では，具体的な検討事例として，ネットワークの最適設計技術，クラウドネイティブSDx制御技術を紹介します．

背　景

NTT研究所では，5G・IoT（Internet of Things）本格時代を見据え，ネットワーク運用のさまざまな段階において発生する変化に柔軟に対応することが可能なアーキテクチャの具現化をめざし，技術検討を進めています．

本稿では，次の2つの技術について紹介します．

① ネットワークの最適設計技術：長期的な需要の変化に対応するために，実データに基づき設備投資の費用対効果を可視化し，最適な設備投資計画策定を支援する技術．

② クラウドネイティブSDx制御技術：短期的な需要の変動に対して，ネットワーク，クラウド環境等サービス提供に必要なリソースを最適に割当し，さまざまなパターンにわたる設定をワークフロー制御にて自動で行う技術．

ネットワークの最適設計技術

ネットワークの最適設計技術は，通信需要の増加等に伴う長期的（数カ月～数年程度）なネットワークの状態変化に対応して，最適な設備投資検討，装置の配備方針検討，ネットワークトポロジ検討を行う技術です．従来，これらの検討は，高いスキルと経験を持った運用者により行われてきました．しかしながら，今後の人口減少，社会の変化に対応した柔軟なネットワークを持続的に提供していくためには，これらをAI（人工知能）等のデータ分析技術により高度化，スキルレス化していくことが課題となってきます．

この課題を解決するために，NTT研究所では，実際の設備データを活用した①設備利用状況の変化の可視化・予測，②設備利用効率の改善ポイントの分析，③ネットワーク構成案と設備配備案の最適化の高度化・スキルレス化に取り組んでいます（**図1**）．

NTT R&Dフォーラム2018（秋）では，伝送網を対象に，最適設計技術のコンセプト，ならびに設備利用状況の

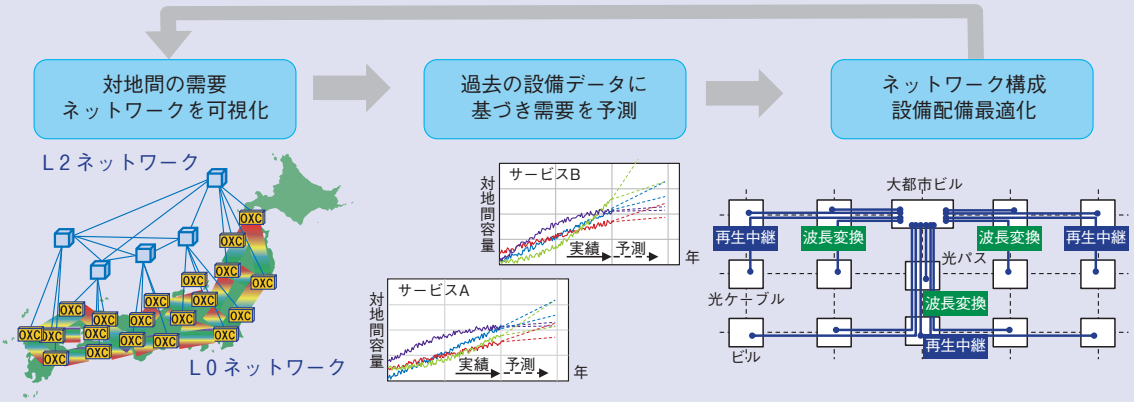


図1　ネットワークの最適計画技術

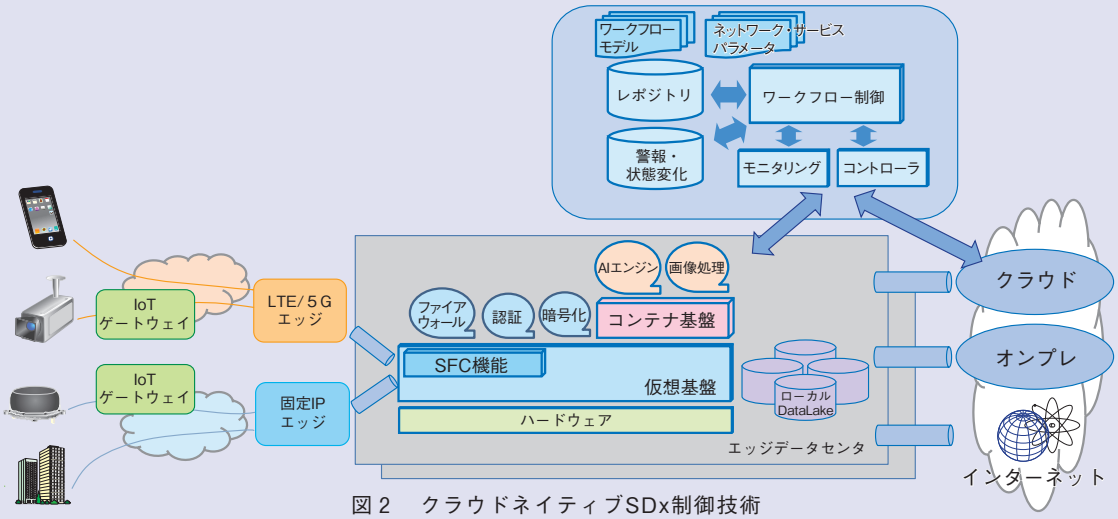


図2　クラウドネイティブSDx制御技術

変化の可視化・予測，設備利用効率の改善ポイントの分析について展示しました．

クラウドネイティブSDx制御技術

クラウドネイティブSDx制御技術はクラウドとネットワークを連携させたサービスの提供において，サービスの即時提供，保守運用の自動化を実現するための技術として次のような検討を進めています．①サービス提供のための資源（ネットワーク，クラウド上のリソース等）の制御を自動的に行う仕組み，②制御対象となるリソース情報を適切に管理する方法が必要となってきます．①の自動化の仕組みについてはクラウド上で利用されている技術を基に，ネットワークも含めて制御可能とするため，ネットワーク機能の仮想化技術（NFV: Network Functions Virtualization）やソフトウェアによるネットワーク制御技術（SDN: Software Defined Networking）等の技術を組み合わせることにより，ネットワーク，クラウド環境とサービスのためのアプリケーションまでを一連の操作で扱う仕組みを検討しています．またサービス提供のためのリソースとしては，物理的なもの（コンピュータやネットワーク機器），仮想化されたもの（仮想コンピュータやソフトウェア化されたネットワーク機能）等，さまざまなものがあり，これらを連携させて制御するため，対象物をモデル化し，汎用的に扱えるようにすることでさまざまなサービスに柔軟に対応できるようにすることを検討しています（**図2**）．

NTT R&Dフォーラム2018（秋）では自動制御の仕組みとリソースの最適割当機能を組み合わせ，サービスの新規提供および故障といった状況に対応し，必要となるリソースの情報とその時点でのリソース状態に基づき最適なリソース割当を行い，割当結果に基づいて自動制御することにより，サービス新規提供時および故障対応におけるオペレーションの効率化について展示しました．

今後の展開

今後の社会基盤を担うネットワークインフラの基盤を支える技術検討として，「ネットワークの最適設計技術」「クラウドネイティブSDx制御技術」について紹介しました．これらの技術は，ネットワークの設計・制御のDX化，AI化を推進し，ネットワークの状態変化に追随した投資，パス設計をスキルレスで行うことができるものです．将来的には5G/IoT本格時代の基盤技術となるよう，実証実験などを通じて技術の完成度を高めていく予定です．

（左から）金子　康晴/ 石塚　美加/
奥田　兼三/ 弘田　武志/
安川　正祥

NTT研究所ではクラウド・ネットワークが融合したさまざまなサービスを提供するために必要な技術の開発に取り組んでいきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
ネットワークアーキテクチャプロジェクト
TEL　0422-59-2684
FAX　0422-59-6364
E-mail　seisyou.yasukawa.va@hco.ntt.co.jp

体感品質を制御する映像配信技術

おくやま　たかふみ†1　きただ　ひろゆき†1　まつもと　ありふみ†1
奥山 隆文 /北田 裕之 /松本 存史
ふじわら　としひと†2　こばやし　だいすけ†3　いのうえ　ひろし†1
藤原 稔久 /小林 大祐 /井上 洋思
えんどう　けんいち†1　かさはら　やすのぶ†2　なかむら　けん†3
遠藤 乾市 /笠原 康信 /中村 健

NTTネットワーク基盤技術研究所†1
NTTアクセスサービスシステム研究所†2
NTTメディアインテリジェンス研究所†3

本稿では，近年の映像コンテンツ配信サービスにおける高精細化と需要拡大に対応するため，コンテンツ配信事業者，通信事業者のサーバ配備や通信ネットワークの最適化と新たな配信制御により，精細・高臨場の映像コンテンツを経済的に高品質で配信する技術を紹介します．

背　景

多くのお客さまがネットワーク経由で高精細な映像を視聴できるようにするためには，通信ネットワーク内で品質が劣化するような事象を発生させないこと，より具体的には，お客さまが体感する品質（QoE: Quality of Experience）が低下しないようにする必要があります．そのために，NTTは映像配信サーバから視聴端末までのエンドエンドにわたって「QoEを制御する技術」「映像データを効率的に配信する技術」の２つの技術からなる映像配信技術を提案します（**図**）．

QoEを制御する技術

「QoEを制御する技術」は，情報収集・分析，ポリシー判断，配信制御の３つのフェーズで構成されます．

⑴　情報収集・分析フェーズ

ネットワーク･QoE可視化技術により，お客さまが満足できるQoEを提供できているか，もしそうでないならばネットワークの輻輳等，原因となる事象を明らかにします．そのために，ネットワーク状態やサーバ負荷状態をネットワークから，お客さまの視聴品質やコンテンツに関する情報をお客さまの視聴端末からそれぞれ収集・分析しています．

⑵　ポリシー判断フェーズ

それぞれのお客さまに適切なQoE

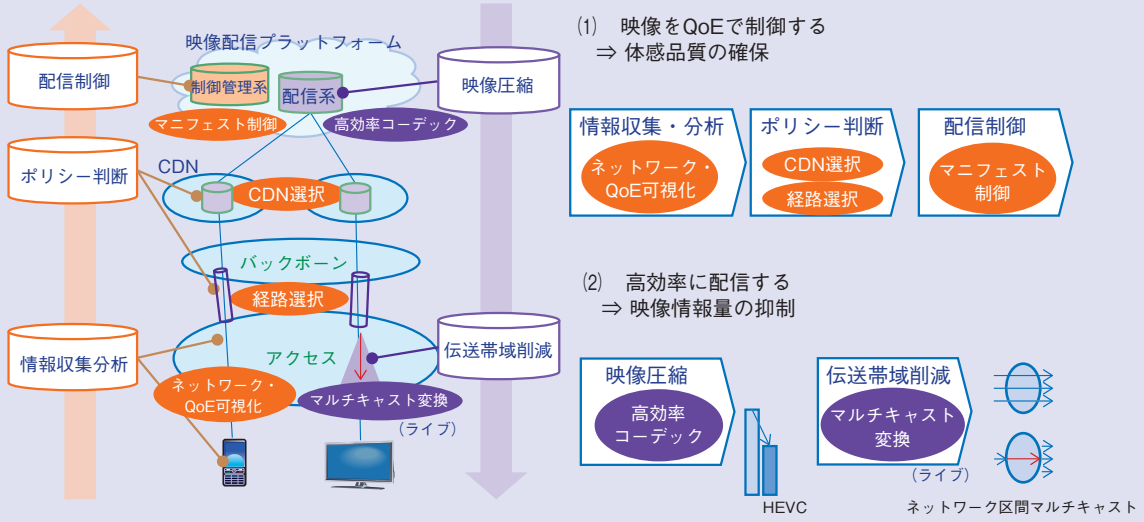


図　体感品質を制御する映像配信技術

を提供し，満足いただくために，選択する配信サーバ・CDN（Content Delivery Network）や提供できる解像度，CMコンテンツなどの配信方針を判断します．この方針は，例えばお客さまのサービスや視聴場所等によって設定可能です．

⑶　配信制御フェーズ

ポリシー判断フェーズで定めた方針に基づき，QoEを満足できる映像や解像度，帯域やCMコンテンツ等の条件と配信サーバを具体的に決定し，視聴端末に通知するマニフェスト制御を実施します．

３つのフェーズを連携して実施することで，ネットワークの混雑を回避して良好な品質の映像を提供できます．

本技術は，NTT R&Dフォーラム2018（秋）において，研究所ネットワーク上のサーバ群とNTTコミュニケーションズのテストベッドを接続・連携し，インターネット経由での配信実験を実施しました．

映像データを効率的に配信する技術

「映像データを効率的に配信する技術」については，２つの独立な技術を内包しています．

⑴　高効率コーデック技術

高効率コーデック技術は，高精細な4K映像をリアルタイムにHEVC方式で符号化する技術で，独自の可変ビットレート制御技術により従来のH.264符号化技術と比べて２分の１以下の符号量に圧縮することが可能です．

⑵　マルチキャスト変換技術

マルチキャスト変換技術は，配信事業者と視聴者は汎用のWebインタフェース（HTTPベースのユニキャスト）の機器を利用したまま，途中の区間をマルチキャスト化する技術です．それにより，配信事業者およびネットワーク事業者は，１コンテンツ当りのデータ転送用の設備リソースを同時視聴者数分の１に抑えることができ，また，同時視聴者数に影響せず，視聴者に対し安定配信できます．

これらの技術を適用することで，多くの視聴者が満足できる品質の映像を届けることが可能となります．

今後の展開

今回実施したアクセスネットワークでの配信基盤を機能強化するだけでなく，配信プラットフォームから端末までの一気通貫の映像配信ビジネスの技術的な仕組みづくりをめざします．

（後列左から）井上　洋思／松本　存史／遠藤　乾市／笠原　康信／中村　　健／小林 大祐
（前列左から）北田　裕之／奥山　隆文／藤原　稔久

NTTでは，4K/8Kなど高品質・高精細な映像コンテンツを，「映像をQoEで制御する」「高効率に配信する」ことで，ネットワークにやさしく，視聴者が満足する品質での提供が可能な映像配信ネットワークの実現に取り組んでいきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
コグニティブファウンデーションNWプロジェクト
TEL　0422-59-6377
FAX　0422-59-6364
E-mail　endou.kenichi@lab.ntt.co.jp

映像転送を支えるデータストリームアシスト技術

NTTネットワーク基盤技術研究所では，高機能・高性能なIoT（Internet of Things）デバイスを活用した複雑なサービスを支えるネットワークを提供するために，軽量かつ柔軟に配置可能なデータストリームアシスト技術の研究開発を行っています．本稿では，具体的なユースケースとして，カメラ映像を多種多目的の利用用途に応じて，通信プロトコル・通信タイミング・通信量を変更し，ネットワークの利用効率を向上させるとともに，IoTサービス事業者の利便性向上につなげる技術の紹介をします．

肥後（ひご） 直樹（なおき） /鍔木（つばき） 拓磨（たくま）
越地（こしぢ） 弘順（こうじゅん） /椿（つばき） 俊光（としみつ）
桑原（くわはら） 健（たけし）
NTTネットワーク基盤技術研究所

映像IoT時代の幕開け

近年，AI（人工知能）を活用した映像解析の本格化，および通信回線の広帯域・高速化により，映像IoT（Internet of Things）が普及してきました[1]．

カメラを使った映像サービスとして防犯・警備などのセキュリティサービスが挙げられますが，お客さまの購買行動を把握するためのマーケティングや製造業における商品の外観検査などへの活用にも注目されるようになり，映像自体の利用目的が多様化しています．

映像IoTシステムの構成変更の難しさ

映像IoTを導入する場合，そのシステムは，ユーザの構内に構築することが一般的です．しかし，ユーザの設備内にシステムを構築する場合，メディアサーバなどの専用設備が必要になり，映像用途の変化に伴うシステム構成の変更が難しいため，映像IoTの導入障壁が高いです．

カメラの映像は，その用途によっては，常に取得する必要がないものもあります．例えば，視聴用途の場合，平常時に視聴するケースは少なく，事件や事故などのイベントが発生した非常時だけ，状況把握のために視聴するケースが多いです．このような場合，平常時も映像を取得していると，ユーザのLAN（Local Area Network）を輻輳させる可能性があります．また，視聴や分析を遠隔地で行う場合は，通信キャリアのネットワークも輻輳させる可能性があります．したがって，必要なときだけ映像を取得する構成に，動的に変更する必要があります．

データストリームアシスト技術による課題解決

データストリームアシスト技術は，この課題を解決すべく，映像IoTをマネージド・サービスとして利用するネットワーク機能の実現をめざしています．

本技術は，映像ストリームの転送を行う「転送系機能」と，転送系機能を管理する「連結制御系機能」の2つで構成されています[2]（**図1**）．これらの機能は，既存映像IoTシステムとの組合せや分散配備を可能とする軽量なソ

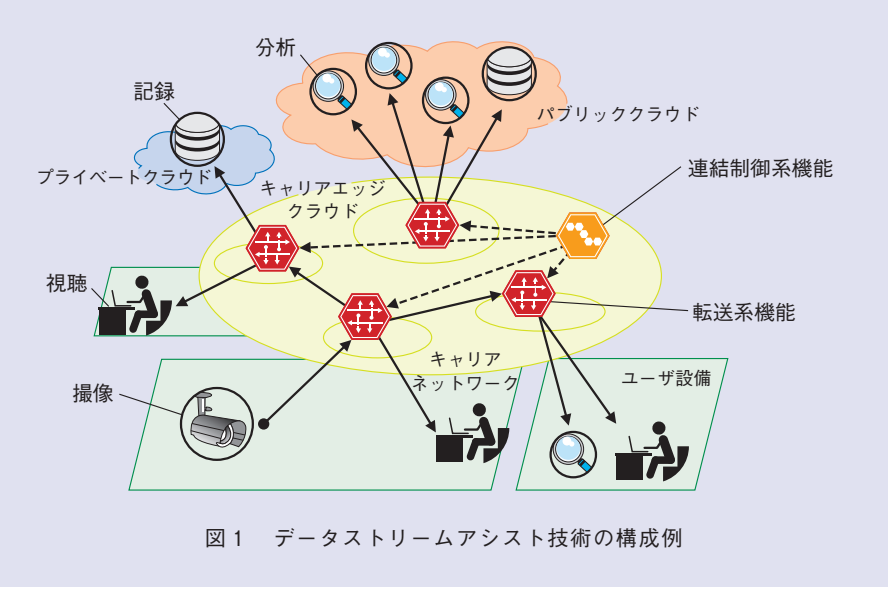


図1　データストリームアシスト技術の構成例

図 2　プロトタイプを用いたデモンストレーション

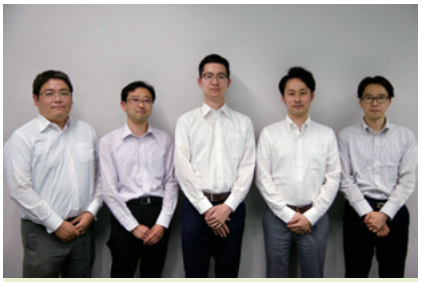
フトウェアを設計指針としています．したがって，プロトタイプ（**図 2**）では，機能のプロセスが動作する環境としてDocker[(3)]，コンテナのオーケストレータとしてKubernetes[(4)]を採用しています．映像ストリームの登録時に，利用する物理マシンやエリアを宣言することで，各マシン上で待機状態のコンテナが展開され，映像のメディア情報の取得や転送を担うストリーム管理機能が立ち上がります．その後，宛先となる視聴デバイスなどからのリクエストに応じて，映像ストリームを配信します．このように，必要な機能を動的に配備可能とすることで，イベント発生時の必要な映像のみの取得を実現し，ネットワークやコンピューティングリソースに制限のある環境においても，柔軟にシステムを構築することができます．

＊ キャリアエッジクラウド：通信キャリアがキャリアネットワーク内にクラウド基盤を構築し，ユーザに提供するクラウド環境．

今後の展開

データストリームアシスト技術は，キャリアエッジクラウド*やパブリッククラウドを組み合わせたマルチクラウド環境との親和性が高いと考えます．映像の用途に応じて高効率かつ安全に映像を配信するネットワーク機能を動的に配備することで，映像IoTの迅速な展開と高いスケール性の実現をめざしていきます．

■参考文献
(1) 特集：“映像IoTが，来た！，” テレコミュニケーション，No.409，pp.6-25，2018.
(2) 肥後・鍔木・越地・椿・桑原：“IoTサービスを支えるデータストリームアシスト技術，” NTT技術ジャーナル，Vol.30，No.7，pp.19-24，2018.
(3) https://www.docker.com/
(4) https://kubernetes.io/



（左から）桑原　健/ 椿　俊光/
鍔木　拓磨/ 肥後　直樹/
越地　弘順

さまざまなサービス事業者とのコラボレーションを通じた研究開発のアプローチにより，IoTサービス事業者の利便性向上と高機能IoTデバイスを活用したサービスの実現をめざし，データストリームアシスト技術をはじめとする新たなネットワークアシスト技術の研究開発に取り組んでいきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワーク基盤技術研究所
コグニティブファウンデーション
NWプロジェクト
TEL　0422-59-3810
FAX　0422-59-6364
E-mail　toshimitsu.tsubaki.zs@hco.ntt.co.jp

IoT　ポリシー制御　デバイス識別

AIを用いたデバイスごとのポリシー制御技術

西原 英臣（にしはら ひでたか）/岩橋 宏樹（いわはし ひろき）
栗田 佳織（くりた かおり）/松尾 和宏（まつお かずひろ）
野口 博史（のぐち ひろふみ）/磯田 卓万（いそだ たくま）
片岡 操（かたおか みさお）/山登 庸次（やまと ようじ）
NTTネットワークサービスシステム研究所

近年，ネットワークカメラやTV等，ネットワークに接続されるIoT（Internet of Things）デバイスが多様化・大量化しており，またデバイスごとにネットワークに求められる要件も多様化しています．本稿では，IoT時代を見据えたキャリアネットワークにおいて，各デバイスの通信のふるまいから，種類･機種等を自動で特定し，デバイスごとに最適なネットワーク制御を実現するポリシー制御技術について紹介します．

IoT時代のポリシー制御技術

世の中にあるさまざまなモノがネットワークに接続され通信を行うIoT（Internet of Things）の進展や，4K/8K映像の普及に伴い，さまざまな利用シーンやアプリケーションが登場し，またデバイスの種類も多様化しています．さらに，デバイスの用途に応じて，高速大容量の転送や，小容量だが多数セッションの転送など通信の特性や要求される品質も多岐にわたります．

このようにネットワークに接続するデバイスが多様化・大量化する中で，デバイスごとの多様なネットワーク要件に柔軟にこたえるために，NTTネットワークサービスシステム研究所では，デバイスの種類や特性に応じて最適なネットワーク制御を実現する，IoT時代のポリシー制御技術の研究開発に取り組んでいます．本稿では，本技術を構成する２つの要素技術と全体システムを紹介します．

ポリシー制御技術

ポリシー制御技術とは，ユーザの多様なニーズに応じて柔軟な付加サービスを提供するために，アプリケーションや特定ユーザのトラフィックを識別し，識別結果に応じて個別の制御ルール（ポリシー）に従ってトラフィックを制御する技術です．具体的な制御例として，フィルタリング，QoS（Quality of Service），帯域制御が挙げられます．

ポリシー制御技術は主に，PCEF（Policy and Charging Enforcement Function）とPCRF（Policy and Charging Rules Function）と呼ばれる機能によって実現され，これらはキャリアネットワーク内に配備されます．PCRFでは，ユーザやアプリケーションに応じて適用するポリシーを決定し，PCEFに対して制御指示を行います．PCEFは，PCRFからの指示に従い，入力するトラフィックを識別し，適切な制御を行います．

ふるまい自動分析技術

ふるまい自動分析技術とは，ネットワークに接続されているデバイスの種類や機種を通信情報から自動で識別する技術です．例えば，宅内やオフィスのネットワークにつながっているデバイスが，ネットワークカメラや視聴用モニタであることを識別することができます．デバイスの種類が明らかになることで，最適なネットワーク制御の判断や大量デバイスの効率的な管理を行うことが可能となります．また，本技術は，デバイスを通常使用する際に発生する通信を利用して識別を行うため，識別対象のデバイスには，高い性能や特別なソフトウェアが必要ないことも利点の１つです．

本技術は，通信情報の特徴量化と類似性の判定という二段階の処理で構成されます（**図1**）．通信情報の特徴量化とは，デバイスが送受信するパケットを一定の時間間隔で収集し，その数やヘッダ情報を基に抽象化したデータをつくります．このデータをデバイスの特徴量と呼びます．次に，類似性の判定ではデバイスの種類や機種ごとにあらかじめ用意した特徴量と，識別対象デバイスの特徴量とを比較してもっとも類似するものを判定します．このとき，特徴量の比較には機械学習を用います．以上の処理によって，デバイスの種類や機種を識別します．

全体システム

従来のポリシー制御技術では，契約回線単位での制御を実施しています．そのため，１契約回線に複数のデバイスが収容されている場合に，ネットワーク側でデバイスを個々に特定でき

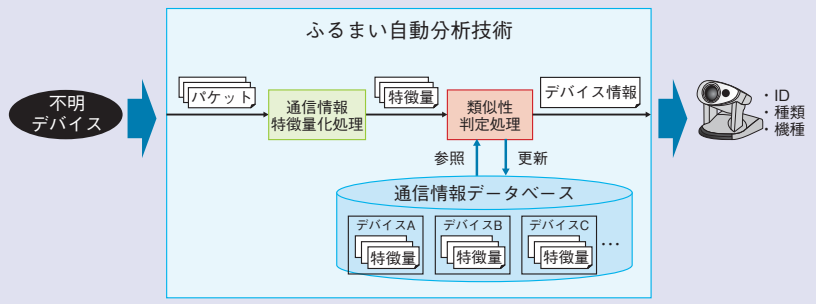


図1　ふるまい自動分析技術構成

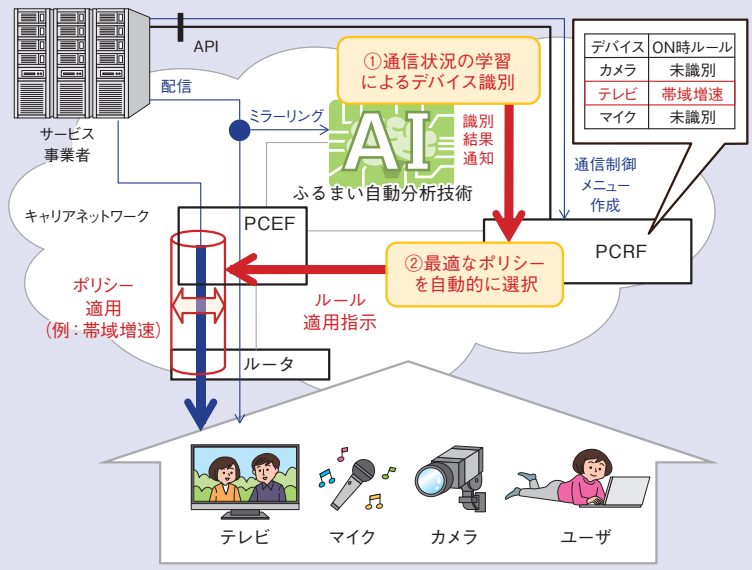


図2　IoT時代のポリシー制御システム構成

ない課題がありました．そこで，ふるまい自動分析技術を活用し，特定したデバイスの識別結果から，PCRFで各デバイスに応じたポリシーを自動で選択する技術を実現しました．本システムの全体構成を**図2**に示します．具体的には，ふるまい自動分析技術を搭載したAI（人工知能）をキャリアネットワーク内に配備し，ミラーリングパケットを入力させ，①ふるまい自動分析技術でデバイスの種別や機種を識別します．AIにて識別完了後に，当該結果と契約回線情報（送信元IPアドレス等）をPCRFへ通知し，②PCRFでは通知される情報に基づき，あらかじめ登録されている契約回線に紐付くデバイスごとのポリシーから，最適なポリシーを自動的に選択します．そして，PCRFからPCEFに対してデバイスの通信単位で当該ポリシーの適用を指示します．

本技術を活用することで，契約回線配下にある個々のデバイスを特定し，デバイスに応じた最適なネットワーク制御を実現することができます．

今後の展開

本稿では，ネットワークに接続するデバイスが多様化・大量化する中で，デバイスの通信のふるまいから自動で種類・機種を特定する，ふるまい自動分析技術と，それらと連携してデバイスごとに最適なネットワーク制御を実現するポリシー制御技術について紹介しました．

ふるまい自動分析技術については，通信情報の特徴量化や類似性の判定にさまざまな手法があるため，適用するネットワークを意識しながら技術の向上とサービス化に向けた検討を進めていきます．

ポリシー制御技術については，ユーザにサービスを提供するサービス事業者がデバイスごとに独自のポリシーを設計・設定し，柔軟なサービス提供を可能とするAPI（Application Programming Interface）について検討を進めていきます．

（後列左から）野口　博史／山登　庸次／
栗田　佳織／西原　英臣
（前列左から）磯田　卓万／片岡　操／
松尾　和宏／岩橋　宏樹

NTTネットワークサービスシステム研究所では，多様なニーズに柔軟に対応可能なネットワークを実現するために，AIと連携したポリシー制御技術等の転送技術の発展にこれからも取り組んでいきます．

◆問い合わせ先
NTTネットワークサービスシステム研究所
転送サービス基盤プロジェクト
TEL　0422-59-7223
FAX　0422-60-7460
E-mail　pcc-p-ml@hco.ntt.co.jp

認証　パスワードレス　FIDO

パスワードレスでの利用資格の共有・委譲技術

吉村 康彦（よしむら やすひこ）/菅 友梨香（すが ゆりか）
大森 芳彦（おおもり よしひこ）/山下 高生（やました たかお）
柴田 哲良（しばた あきら）
NTTネットワークサービスシステム研究所

NTT研究所では，安全性と利便性を両立させた認証基盤の確立をめざし，研究開発を進めています．本稿では，特に近年普及が進むスマートフォンのようなモバイル端末を用いてさまざまなサービスを利用する際に，パスワードを必要としない安全な認証基盤技術について紹介します．今後は本技術をさまざまなサービスに適用し，利便性の向上を図っていきます．

背　景

スマートフォンのようなモバイル端末の急速な普及に伴い，場所を問わずオンラインでさまざまなサービスが利用可能になってきました．個々のサービスを利用する際にはIDとパスワードを用いて認証する方法が一般的に用いられていますが，利用者はサービスごとに異なるパスワードを記憶して入力する必要があり，利便性の観点で課題があります．また，ID・パスワードの流出によるなりすましへの懸念もあります．これらの問題に対処するため，安全かつ便利な認証の実現をめざし，技術検討を進めています．

FIDO関連技術

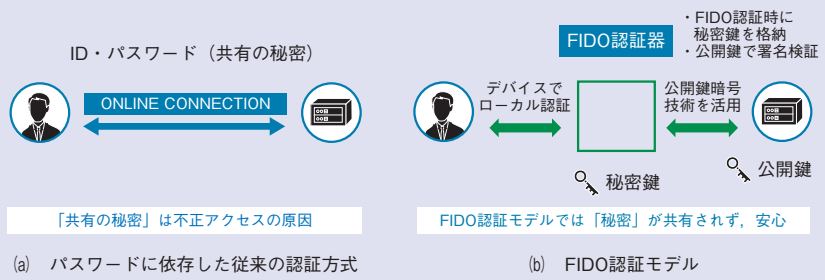
安全・便利な認証という観点では，FIDO（Fast IDentity Online）アライアンスが，公開鍵暗号化技術を活用した認証方式を提案しています[(1)]（**図1**）．FIDO仕様の1つに，スマートフォンなどのモバイル端末での利用を想定しているUniversal Authentication Framework（UAF）プロトコルがあります．UAFは認証用の秘密鍵をモバイル端末のセキュア領域（SE/TEE領域など）に格納し，モバイル端末を認証トークンとして利用します．また，認証時に公開鍵暗号技術を活用することで，サーバと端末で秘密情報（パスワードなど）を共有することなく高い安全性を提供します．さらに，最近のモバイル端末が一般的に備えている生体認証などの本人確認手段を用いて認証を実現することで，パスワードを必要としない認証を実現します．

利便性向上技術概要

さまざまなサービス事業者がFIDO認定を受けた認証エコシステムを導入し始めており，FIDO技術の普及が進みつつあります．NTT研究所では，FIDO技術を応用して利用者間で物やサービスの利用資格の共有を実現することで，さらなる利便性の向上をめざしています．

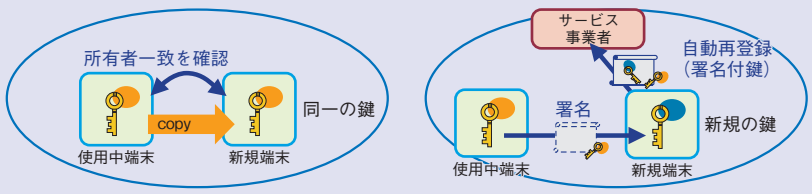
FIDOのように公開鍵暗号化方式を用いる場合，モバイル端末にはサービス数分の鍵を登録しますが，機種変更などにより新しい端末を利用する際にはユーザ自身が再登録を実施する必要があります．利便性向上技術では複数の端末間で鍵を安全・簡単に共有する仕組みを提供することにより，再登録の負担を軽減します．

利便性向上技術の核となる鍵共有（委譲）方式の概要を**図2**に示します．鍵コピー方式（図2(a)）ではSE/TEE領域にある秘密鍵を新しい端末に複製します．この際，安全性を確保するために生体認証を用いることや，電子証明書を用いた本人確認を行うこと，NFCやBluetoothなどの近傍通信



(a)　パスワードに依存した従来の認証方式　　(b)　FIDO認証モデル

図1　FIDO認証方式の特徴



(a) 鍵コピー方式　(b) TA方式

図2　鍵共有（委譲）方式の概要

図3　利便性向上技術の適用

を用いることでインターネットを経由させないことなどの工夫をしています[2]．また，端末間の鍵共有はお互いの端末をかざしたうえで，生体認証を行うという簡単な端末操作で実現できます．

また，ワシントン大学が提案しているTransfer Access（TA）方式[3]（図2(b)）は，すでに登録済の利用者の秘密鍵を使い，新しい端末の公開鍵に電子署名を付与することで，サーバ（サービス事業者）に同一の利用者であることの通知を可能にします．この方式は，認証サーバを改造する必要がありますが，サービス事業者が新たな端末で認証を行うことを知りたい場合に有効な方法です．

利便性向上技術の応用

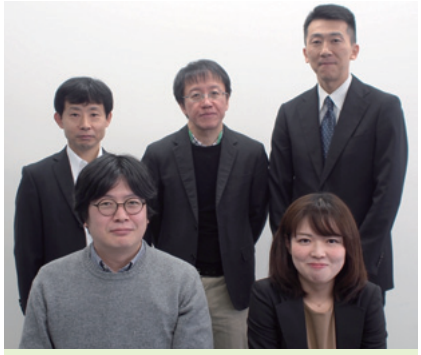
利便性向上技術の端末間で秘密鍵を共有する仕組みを用いて，利用者間でサービスや資源の利用資格を共有（委譲）する仕組みへの応用についても検討を進めています[4]．TA方式において，使用中端末を利用者A，新規端末を利用者Bとすると，利用者Bが公開鍵を登録する際に，サービス事業者にとってはすでに利用資格のある利用者Aが新たに利用者Bに利用資格を与えると考えることができます．利用資格を端末間で共有するだけでなく，利用者間での権限の委譲に用いることでさまざまなサービスへの適用が可能となります（**図3**）．

今後の展開

本稿ではパスワードを必要としない安全かつ便利な利用資格の共有，委譲方法について紹介しました．今後はさまざまなサービスへの適用について具体的な実現方式の検討を進めることで，認証基盤の汎用化，高度化に努め，関連サービスのさらなる付加価値向上に貢献していきます．

■参考文献

(1) https://fidoalliance.org/
(2) H. Nishimura, Y. Omori, T. Yamashita, and S. Furukawa: “Secure Authentication Key Sharing between Mobile Devices Based on Owner Identity,” Proc. of MobiSecServ 2018, Miami, U.S.A., Feb. 2018.
(3) A. Takakuwa, T. Kohno, and A. Czeskis : “The Transfer Access Protocol Moving to New Authenticators in the FIDO Ecosystem,” Technical Report UW-CSE-17-06-01, The University of Washington, 2017.
(4) 大森・西村・山下：“多数のユーザ端末間でのサービス利用の認可に関する検討，” 2018信学ソ大，2018.



（後列左から）大森　芳彦/ 山下　高生/
柴田　哲良
（前列左から）吉村　康彦/ 菅　友梨香

スマートフォンの普及で，生活のさまざまな場面でオンラインサービスを利用する機会が増えています．さまざまなサービスに対応したパスワードを必要としない簡単かつ安全な認証基盤を確立することで利便性向上に貢献していきたいと考えています．

◆問い合わせ先
NTTネットワークサービスシステム研究所
ネットワーク制御基盤プロジェクト
TEL　0422-59-3449
E-mail　nepud-rv-ml@hco.ntt.co.jp

モノづくりを革新する光ファイバ・光デバイス技術

松井　隆[†1]　/辻川　恭三[†1]　/今井　欽之[†2]
赤毛　勇一[†2]　/坂本　尊[†2]　/半澤　信智[†1]
寒河江　悠途[†1]　/中島　和秀[†1]　/森村　浩季[†2]

NTTアクセスサービスシステム研究所[†1]
NTTデバイスイノベーションセンタ[†2]

これまでNTTが光通信分野の研究開発で培ってきた光ファイバおよび光デバイスの最先端技術を，三菱重工業株式会社が有する高出力レーザ加工技術と融合し，高品質なハイパワー・レーザ光の長距離伝送に世界で初めて成功しました．レーザ加工技術は自動車や航空機などの製造現場に急速に普及しており，今回の共同研究成果はB2B2Xの営みにより，多様な社会インフラのモノづくりの概念を革新する第一歩として期待されます．

背　景

今日，金属の切断や溶接をはじめとしたレーザ加工技術は，自動車や航空機などの製造現場に広く普及しています．レーザ加工に用いるレーザビームは，その性質からシングルモードとマルチモードに大別することができます（**図1**）．シングルモードのレーザビームは直進性が高く，光ファイバから出射されるビームを一点に絞りやすいため，高精度なレーザ加工を実現できます．最新のシングルモードレーザ発振器の出力は10 kW（光通信で用いる光強度の約1万倍）に及び，高精度で効率の良いレーザ加工が行えますが，従来の光ファイバで伝搬可能な距離は数mに制限されていました．

一方，マルチモードのレーザビームは既存の光ファイバ技術で数100 m以上にわたって伝搬できますが，光ファイバから出射されるレーザビームの広がりにより加工精度が制限されていました．そのため，10 kW級のシングルモードのレーザビームを，加工に適した品質を維持したまま数10 m以上にわたり伝搬することができれば，加工現場における加工場所や加工対象のサイズによる制約を大幅に緩和できると期待されています．さらにシングルモードの高出力レーザビームの方向や形状を自在に制御することができれば，切断・孔開けの加工形状制御や，効率的な肉盛加工*の実現が期待されます（**図2**）．

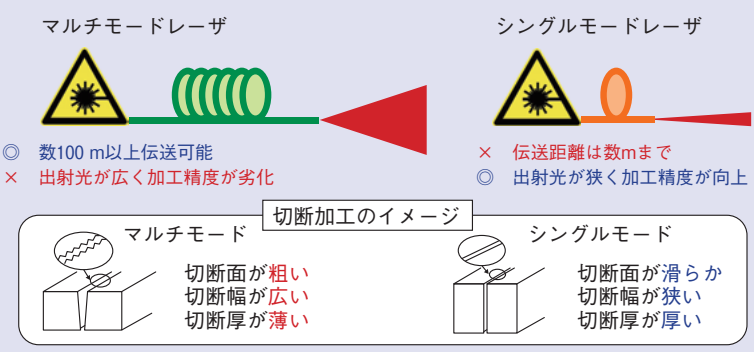


図1　現在のレーザ加工技術とマルチ・シングルモードの特徴

ハイパワー伝送用光ファイバ・光デバイス技術

今回，NTTが低損失・大容量伝送媒体として開発を進めてきたフォトニック結晶ファイバを，ハイパワー伝送用媒体として新たに最適化することで，10 kWの高品質レーザビームを30 mにわたり伝送することに成功しました[(1)]．フォトニック結晶ファイバは無数の空孔で囲まれた領域に光を閉じ込めて伝搬する光ファイバで，空孔の直径や間隔を緻密に制御することで，10 kWのハイパワー入力時でもレーザ加工に適したシングルモードを維持することができます[(2)]．さらに，今回の三菱重工業株式会社との共同研究では，NTT

＊肉盛加工：基盤材料の表面に所望の特性を有する金属粉末などを溶着させ，材料の耐熱性や腐食性を向上する技術です．肉盛加工に用いるレーザビームの形状を広く平坦に制御できれば，1回のレーザビーム照射で肉盛加工を行う面積を拡大することができます．

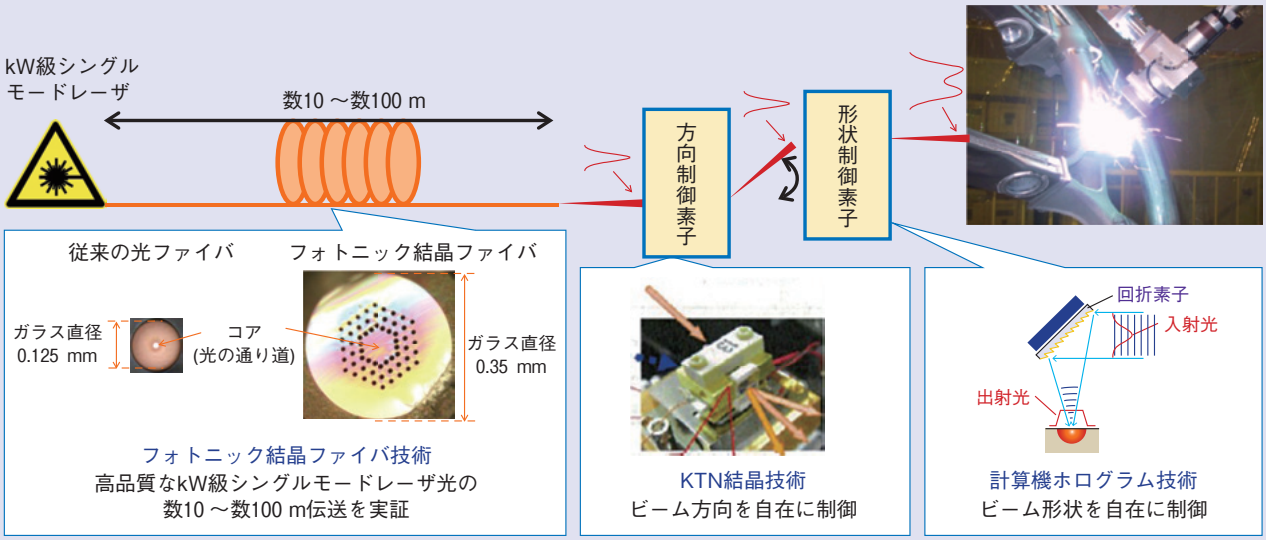


図２　NTTのICTを活用した新たなレーザ加工技術のイメージ

が光スイッチや光メモリへの応用を考え開発を進めてきた，KTN（タンタル酸ニオブ酸カリウム）結晶[3]と計算機ホログラム[4]の，レーザ加工への応用についても検討を行いました．KTN結晶および計算機ホログラムを用いることにより，それぞれレーザビーム方向と形状を自在に制御することができます．このため，フォトニック結晶光ファイバ・KTN結晶・計算機ホログラムの３つの技術を組み合わせることで，10 kW級のレーザビームを任意の加工現場に届け，柔軟かつ高品質で高効率なレーザ加工の実現が期待されます．

今後の展望

今回の取り組みは，競争力のあるネットワーク基盤技術の研究開発として推進してきた成果を，他業種の技術と組み合わせることで新たな付加価値の創出をめざしたものであり，今後，実際のレーザ加工におけるポテンシャル実証を経て，多様な社会インフラのモノづくりの現場を変革する技術として成長していくことが期待されます．

■参考文献

(1) http://www.ntt.co.jp/news2018/1804/180425a.html
(2) 松井・辻川・奥田・寒河江・藤谷・中島・白木：“フォトニック結晶構造ファイバによるハイパワー伝送技術，” 第89回レーザー加工学会講演会，24A2-5，2018.
(3) 中村・宮津・佐々木・今井・笹浦・藤浦：“$KTa_{1-x}Nb_xO_3$結晶における空間電荷制御電気伝導とKerr 効果による光偏向現象，” 信学論(C)，Vol.90，No.12，pp.967-976，2007.
(4) 八木・今井・黒川・遠藤・石原・芳山・久保・三輪：“積層光ROMカード，” 信学論(C)，Vol.84，No.8，pp.635-643，2001.

（上段左から）中島　和秀/ 松井　　隆/ 辻川　恭三/ 寒河江　悠途/ 半澤　信智
（下段左から）坂本　　尊/ 赤毛　勇一/ 今井　欽之/ 森村　浩季

最先端の光ファイバ・光デバイス技術により，情報通信ネットワーク基盤を支えるとともに新たな価値創造に貢献します．

◆問い合わせ先
NTTアクセスサービスシステム研究所
アクセス設備プロジェクト　先端媒体グループ
TEL　029-868-6432
FAX　029-868-6440
E-mail　setsuseng-ml@hco.ntt.co.jp

無線LAN電波を活用した鳥獣検知システム

村上 友規（むらかみ ともき）†1 /大槻 信也（おおつき しんや）†1
林 崇文（はやし たかふみ）†1 /鷹取 泰司（たかとり やすし）†1
北村 和夫（きたむら かずお）†2

NTTアクセスサービスシステム研究所 †1
NTTサービスエボリューション研究所 †2

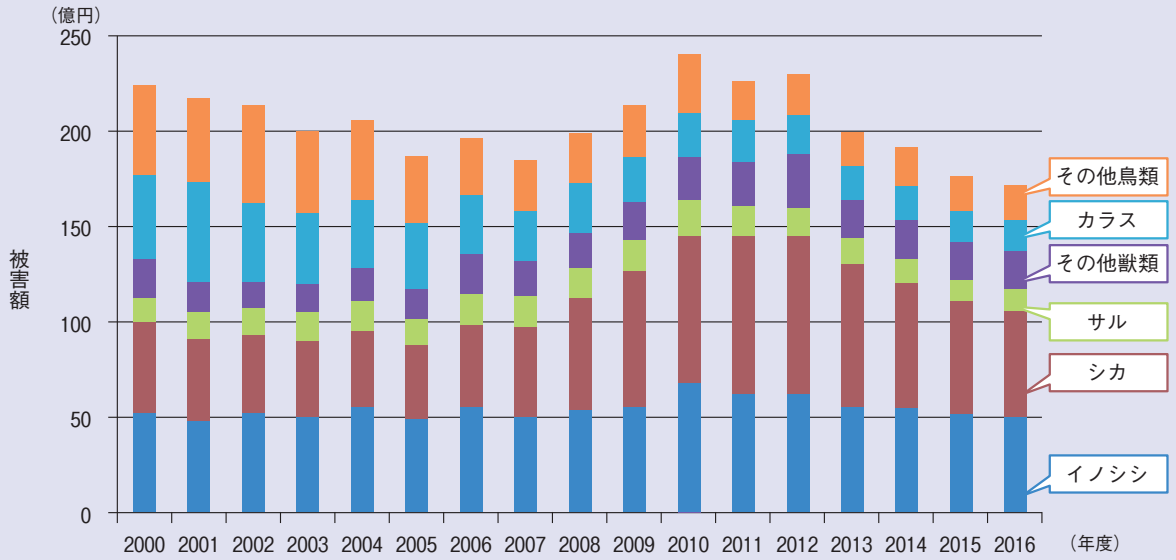
NTTグループでは，1次産業である農業を重点分野として位置付け，農業とICTを融合させる革新的技術の創出を進めています．本稿では，それらの検討の中でも，農地に侵入した鳥獣を無線LAN電波の変動のみで高精度かつ広範囲に検知する鳥獣検知システムの取り組みについて紹介します．

日本における鳥獣被害の現状

野生鳥獣による農作物への被害は，年間200億円前後で推移しており，特にイノシシとシカによる被害額は全体の約80%を占めています（**図1**）．加えて，これらの被害は営農意欲の減退や耕作放棄といった二次被害も引き起こしており，数字として表れる以上に深刻な社会問題となっています．このような鳥獣被害の対策として，ICTを活用した侵入検知・侵入防止・捕獲・追い払いなどの検討がさまざまな機関で活発に行われています．NTT研究所では，その中でも侵入検知に向けた電波を活用したセンシング技術に注目をしています．

電波を活用したセンシング技術の動向

電波はスマートフォンを代表とするモバイル端末などへの通信媒体として，移動通信システムや無線LAN（Local Area Network）システムで幅広く利用されています．一方で，電波は通信用途だけでなく，センシング・電子レンジ・GPS（Global Positioning System）・無線電力伝送などの非通信の用途にも活用され，生活に不可欠なものとなっています．近年，特にセンシング技術に注目が集まっており，「人や動物などの検知（これまでの領域）」から「物体や行動の識別（新たな領域）」への



出典：農林水産省，「野生鳥獣による農作物被害状況の推移」より作成

図1　鳥獣害被害額の推移

適用領域の拡大が進んでいます．

電波を活用したセンシング技術には，検知対象が無線デバイスを保有するものと保有しないもの（デバイスフリー型）に分類されます．一般的に，デバイスフリー型で用いられる電波の種類には，マイクロ波・ミリ波・赤外線・可視光線などがあり，本検討で注目するマイクロ波はほかの電波と比較して，検出範囲，夜間・見通し外の検知の観点で優れています(**表**)．さらに，マイクロ波の中でも無線LANの電波を用いる場合，既設の無線LANのデバイスの一部を再利用することが可能となるため，導入コストの削減につながります．

無線LAN電波を活用した鳥獣検知システム

提案システムでは，対象エリア内にIEEE 802.11ac[1]で規定される無線LANアクセスポイントと複数の端末を配置し，その間の電波の変動を解析することで，鳥獣の検知を行います(**図2**)．具体的には，別に設置する収集デバイスが，アクセスポイントと端末の間で定期的に交換される送信ビームフォー

表　デバイスフリー型センシングの特徴

		マイクロ波	ミリ波	赤外線	可視光（カメラ）
周波数		300 MHz～30 GHz	30 GHz～300 GHz	数10 THz	数100 THz
検出範囲	距離	～100 m	～10 m	～10 m	～10 m
	方向	方向依存なし	特定方向	特定方向	特定方向
夜間の検出		○	○	○	×
見通し外の検出		○	×	×	×
導入コスト		○	×	△	△

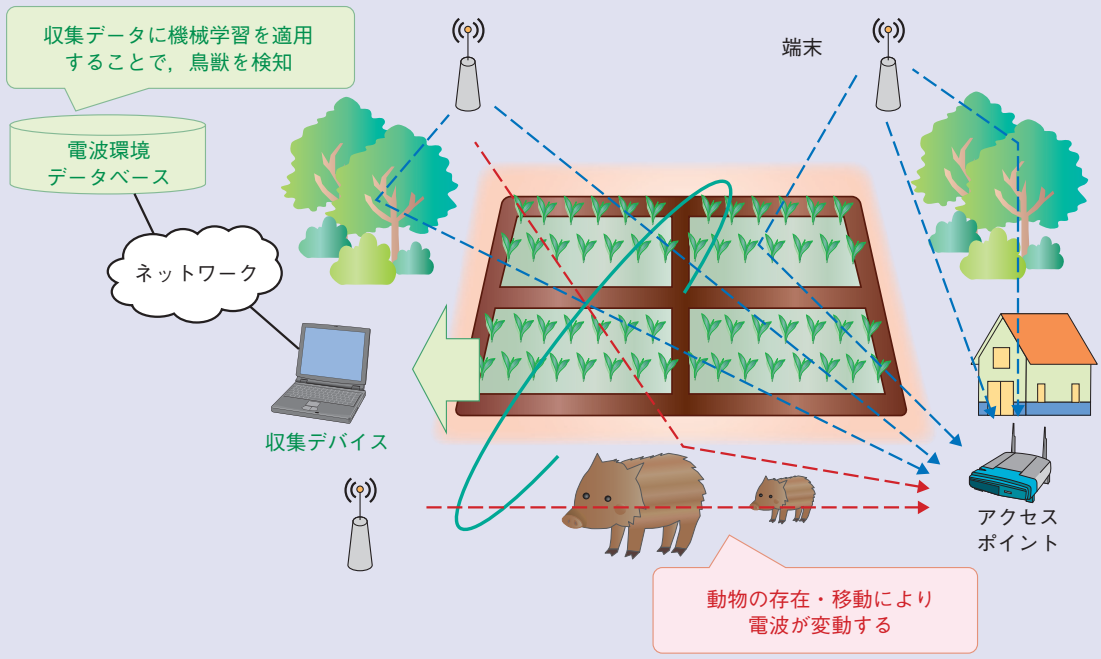
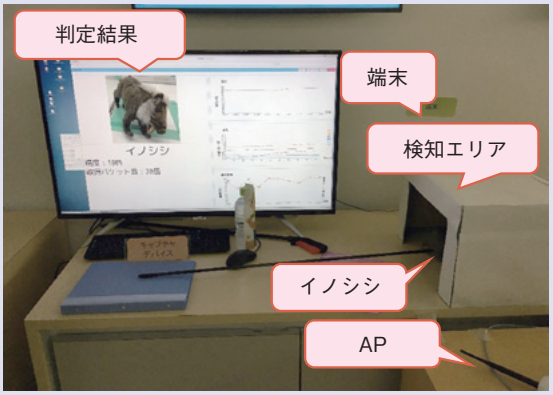
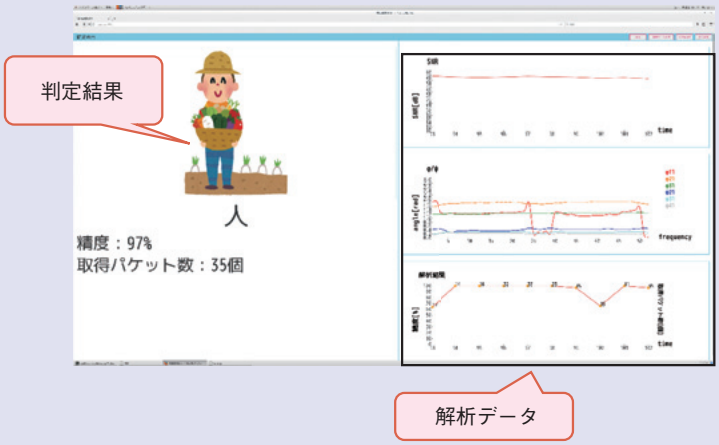


図2　鳥獣検知システムの全体像



(a)　ぬいぐるみ（イノシシを模擬）を検出した様子



(b)　ペットボトル（人を模擬）を検出した様子

図 3　展示の様子

ミングで必須となるCSI（Channel State Information：伝搬路情報）*を通知する無線パケットを一括して収集し，ネットワーク上のデータベースに収集した情報に機械学習を適用することで鳥獣検知を実現します[2]．提案システムを用いることで，これまで特殊な装置でしか取得できなかったCSIを簡易に取得することができ，さらに既設の無線LANシステムの再利用も可能となるため，導入コストを大幅に低減することができます．また，NTT R&Dフォーラム2018（秋）では，動態デモとして，「イノシシのぬいぐるみ」と「人と見立てたペットボトル」の識別を実施し，その実現性を明らかにしました（**図 3**）．

＊ CSI：送信アンテナと受信アンテナ間における伝搬路情報であり，OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）伝送におけるサブキャリアごとの振幅と位相の情報を含むもの．

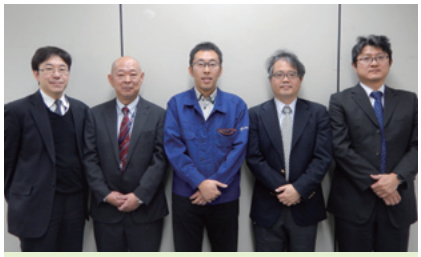
今後の展開

NTT R&Dフォーラム2018（秋）に来ていただいたお客さまの中には，鳥獣被害にお困りの方が多数いらっしゃることから，提案システムに基づく鳥獣害対策技術を確立していくとともに，適用領域拡大に向けて，人や物の侵入検知といった鳥獣以外への展開を進める予定です．

■参考文献

(1) IEEE Std 802.11ac-2013：“Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications--Amendment 4：Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz,” Dec. 2013.

(2) T. Murakami, M. Miyazaki, S. Ishida, and A. Fukuda：“Wireless LAN-based CSI Monitoring System for Object Detection,” MDPI Electronics, Vol.7, No.11, p.290, Nov. 2018.



（左から）鷹取　泰司/ 北村　和夫/
村上　友規/ 大槻　信也/
林　崇文

紹介したシステムは鳥獣害だけでなく，さまざまな分野で応用できる可能性を秘めていますので，もし興味がございましたら連絡をお願いします．

◆問い合わせ先
NTTアクセスサービスシステム研究所
無線アクセスプロジェクト
次世代大容量無線グループ
TEL　046-859-8720
FAX　046-859-3145
E-mail　tomoaki.ogawa.yg@hco.ntt.co.jp