ISSN 0915-2318　平成2年3月5日第三種郵便物認可
平成31年1月1日発行　毎月1回1日発行　第31巻第1号（通巻358号）

NTT 技術ジャーナル

NTT R&Dフォーラム2018（秋） 基調講演

Internet of Things
Connected Car
Smart World 5G
Creativity IT as a Service
Global＋Local B2B2X
Your Value Partner
Software Defined Imagination
Edge Computing Natural
Point of Atmosphere Relationship
Cognitive One NTT
Foundation Sustainable
Key Performance Indicator
Multi Orchestrator

■グループ企業探訪
NTTテレコン

■from NTTコムウェア
通信インフラのメンテナンスサイクルを革新するデジタルトランスフォーメーション

1 2019
Vol.31 No.1

特集 NTT R&Dフォーラム2018（秋）基調講演

Smart Worldの実現に向けて

澤田　純　NTT代表取締役社長 …… 4

世界をSMARTに，技術をNATURALに

川添　雄彦　NTT取締役　研究企画部門長 …… 11

from ★NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル

3GPP Release 15標準化技術概要 …… 18

NTT技術ジャーナル

グループ企業探訪

NTTテレコン株式会社 …… 28

ライフラインの集中監視・自動検針を提供
今後はIoTトータルソリューションにより世の中のデジタル変革を推進

from◆NTTコムウェア

通信インフラのメンテナンスサイクルを革新する
デジタルトランスフォーメーション …… 32

Event Reports

「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」開催報告 …… 36

グローバルスタンダード最前線
■通信装置のソフトエラー対策，
ITU-T国際標準制定 …… 40
テクニカルソリューション
■パケットキャプチャデータを活用し
外部からのアクセスを自動集計・見える化 …… 44
Focus on the News …… 47
NEWS …… 50
特許紹介 …… 51
イベント …… 53
読者の声 …… 54
2月号予定
編集後記

本誌掲載内容についての
ご意見，ご要望，お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会内
NTT技術誌事務局
TEL （03）3288-0608
FAX （03）3288-0615
E-mail jimukyoku2008@tta.or.jp

本誌ご購読のお申し込み，
お問い合わせ先
一般社団法人電気通信協会
ブックセンター
TEL （03）3288-0611
FAX （03）3288-0615
ホームページ http://www.tta.or.jp/

■企画編集 日本電信電話株式会社
〒100-8116 東京都千代田区大手町1-5-1
大手町ファーストスクエア イーストタワー
NTTホームページ URL http://www.ntt.co.jp/
■発 行 一般社団法人電気通信協会
〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-1-1
如水会ビルディング6階
TEL (03)3288-0608 FAX (03)3288-0615
URL http://www.tta.or.jp/
©日本電信電話株式会社 2019
●本誌掲載記事の無断転載を禁じます●
※本誌に掲載されている社名，製品およびソフトウェアなどの名称は，各社の商標または登録商標です．
■表紙デザイン：高橋デザインルーム

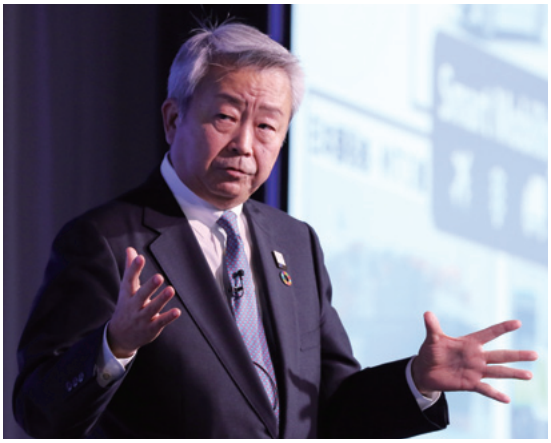
NTT技術ジャーナルはWebで閲覧できます．http://www.ntt.co.jp/journal/

特　集

NTT R&Dフォーラム2018（秋）基調講演

Smart Worldの実現に向けて

さわだ　じゅん
澤田　純
NTT代表取締役社長



本稿では，NTTグループが取り組んでいる「Smart World」の実現に向けた「新たな価値創造」について紹介します．本記事は，2018年11月29～30日に開催された「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」での，澤田純NTT代表取締役社長の講演を基に構成したものです．

スマートシティ

NTTグループは，人々が豊かで幸せになる未来を実現していくお手伝いをしたいと考えています．スマートシティの実現に向けて，数年前より札幌市，福岡市，横浜市，いわゆる政令指定都市クラスの皆様とデータを活用した産官学の連携による，新たな価値創造の取り組みを進めています．今回の講演ではスマートシティの取り組みをさらに強化，進化させたラスベガス市の取り組みと，日本での街づくりの発展，課題解決に向けた新しい取り組みを紹介します．

■ラスベガス

NTTは2018年9月よりデルテクノロジーズとのパートナーシップの下，ラスベガス市を舞台にスマートシティの共同実証実験を始めました．ラスベガス市のダウンタウンに設置された多数のカメラやセンサをネットワーク化し，歩行者や交通パターンの情報を解析することで事件の発生を検知し，犯罪の防止につながるシステムづくりをサポートしています．

ネットワークのエッジで認識・検知するものとAI（人工知能）でトレンドを分析・予測をするものを組み合わせたモデルになっており，センシング技術をはじめ，さまざまなNTT研究所の先進的な技術が投入されています．そして，それらをつなぐためにコグニティブ・ファウンデーションという新しいソフトウェア基盤を用意しました（**図1**）．今後は，より安全性の高いソリューションやトラフィック監視など，機能を拡張していきます．また，ネバダ州においてもスマートシティ化していく動きがあります．

さらに，デルテクノロジーズと米国のNTTグループの営業部隊が連携し，全米にスマートシティソリューションを拡張していく予定です．

NTTグループは，従前より**図2**のようなB2B2Xモデルを推進しています．NTTグループはファーストB，つまり左側のBであり，パートナーとともに，真ん中のBのメインプレイヤーの方を支えることで新たな価値を生んでいきたいと考えています．

ラスベガス市は，真ん中のBになるわけですが，ファーストBのNTTとデルテクノロジーズは，データを自分では所有しません．ラスベガス市がそのデータを使い，新しい価値を創造するサポートをするのが私たちになります．ラスベガス市の最高情報責任者（CIO）であるMichael Sherwood 氏からは，NTTはラスベガスの発展に

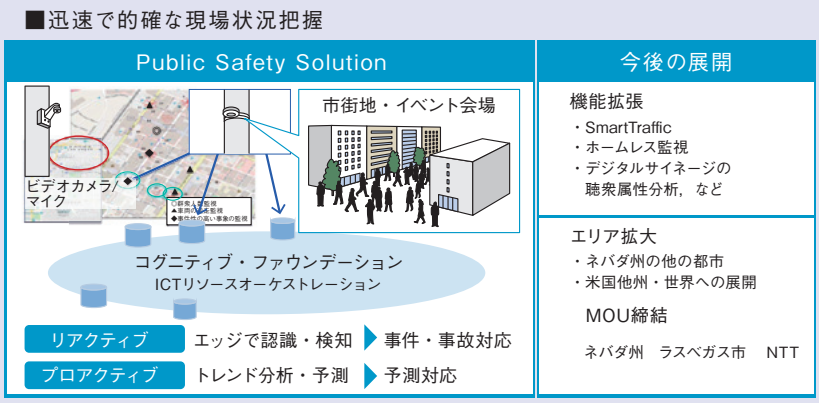


図1　スマートシティの事例（ラスベガス市様）

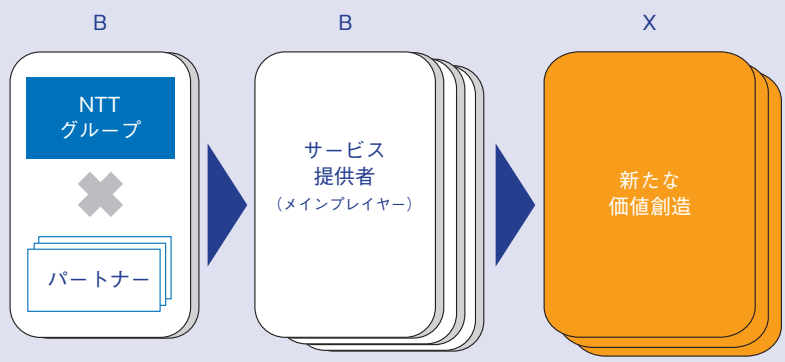


図2　B2B2Xモデルの推進

必要なサイバーセキュリティや，データ管理など，データを使った新しい分野での専門的なノウハウを持つことに加え，ラスベガス市が主役となる（データを自ら所有する）提案がNTTとデルテクノロジーズを選んだ理由と聞いています．データは事業やサービス，あるいは社会生活の基本になっていきます．それを誰が保有し，誰がコントロールをしていくか，日本では地方自治体が保有するべきだと考えています．これを世界規模でも展開していこうと考えています．

■街づくり会社

2018年11月27日まで公開買付を実施していましたNTT都市開発ですが，トータルで95.2％の株を保有することができ，TOBが実現しました．これはNTT都市開発の街づくりノウハウとNTTファシリティーズの建築関係，電力関係のソリューション，さらにはNTTのアセットあるいは他の技術を重ね合わせて，街づくりをお手伝いすることを目的としています．コミュニティ，ダイバシティ，イノベーション，レジリエンスの実現を期待しており，そのためには，IT，通信は必須のツールになります．それらにより私たちが街づくりのお手伝いをし，事業体を広げていくことで世の中に貢献していけるのではないかと考えています．

スマートワールド

次に，スマートワールドについて，いくつかの分野に関する事例を紹介させていただきます．

■スマートエンタテインメント

Jリーグ様とは次の新しい観戦スタイルの提供をめざしています．松竹様とは伝統芸能とICTの融合に取り組んでいます（**図3**）．

2018年11月1日に京都南座が新しく開場され，この中に超高臨場通信技術「Kirari!」の装置を入れていただきました．2019年夏から，この場所で共同公演をスタートさせます．南座は非常に伝統のある施設ですが，新しい伝統と新しい芸術を融合させる試みを進めようと考えています．

■スマートマニュファクチュアリング

JSR様とはプラントのスマート化，コマツ様とは建設・鉱山機械の遠隔制御のサポート，ファナック様とは製造現場のデータ利活用，三菱重工様とは未知のサイバー攻撃の検知と対処のサポートなど，さまざまな取り組みを進めています．特にJSR様のプラントのスマート化では，アクセンチュア様とともに，AI，音声認識，センサを使用して形式知化を行っています（**図4**）．将来的にはコネクテッドバリューチェーンでいろいろなものをIoT（Internet of Things）で接続し，部分的ではなく，コンビナート全体で付加

価値を高める構造にしていきたいと考えています．また，非常に苦労しているのが電池を利用できないことです．電池はショートすると爆発してしまうため，化学コンビナートでは規制上使用できません．そこで，NTTアドバンステクノロジとinQs（インクス）様が開発した色素増感という赤外線等で発電する技術を組み込んだ防爆センサを使用しています．

■スマートモビリティ

トヨタ自動車様とは自動運転を実現する基盤技術，日本郵船様・MTI様とは船舶の安全，環境への取り組み，JR東日本様とはシームレスな移動について取り組みを進めています．

⑴　トヨタ自動車様

2018年12月からトヨタ自動車様と本格的な実証実験に入ります．１台，２台の車を走らせる実験はさまざまなところで行われていますが，将来的には数千万台規模のデータを処理する基盤が不可欠であるため，まずは500万台規模の車が走ることを想定した実験を行います．実験では，車から収集したデータをデータセンタで処理し，その結果を他の車へ通知するエンドーエンドでのデータ流通を実現するコネクティッドカー基盤の検証を行います（**図５**）．このような取り組みを一定の期間，さまざまなケースを想定し，続けていく予定です．トヨタ自動車様と一緒につくる基盤を他の自動車会社を含め，世界でも使えるようなモデルにしていきたいと考えています．

⑵　日本郵船様，MTI様

日本郵船様とMTI様とは，船の内部でのデータを収集しながら，衛星通信等を利用して陸上からもデータを管理することで，燃費の向上，予防保全，

図３　スマートエンタテインメントの事例（松竹様）

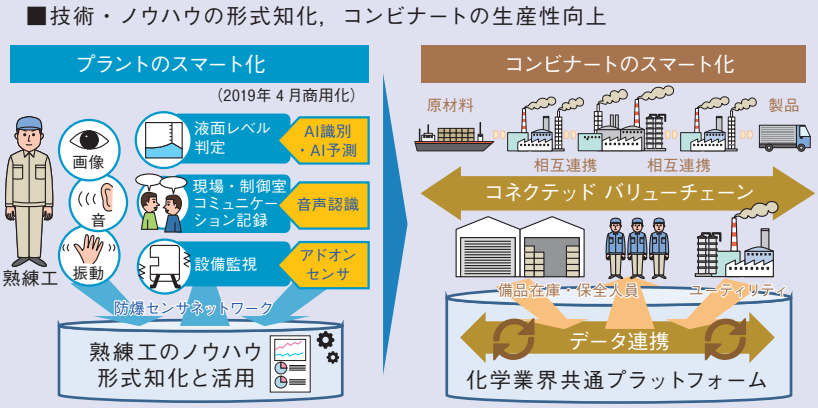


図４　スマートマニュファクチュアリングの事例（JSR様）

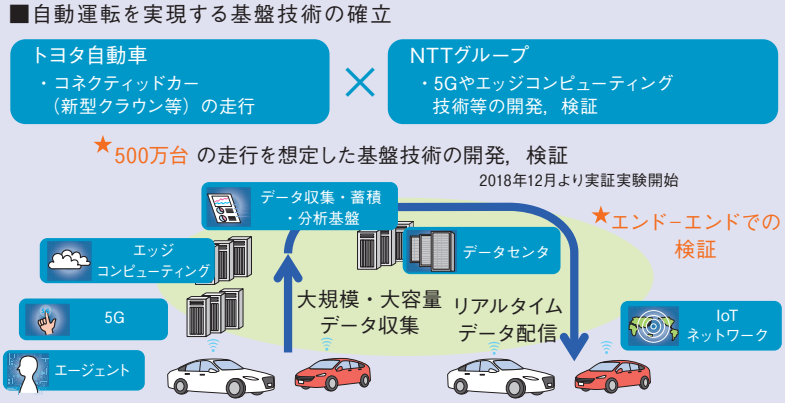


図５　スマートモビリティ（トヨタ自動車様）

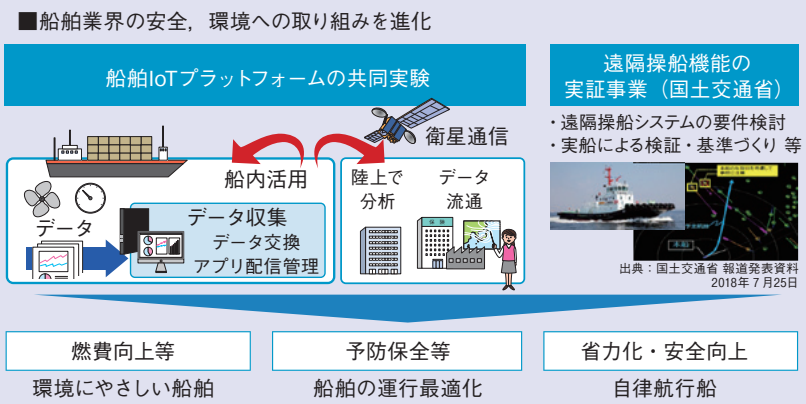


図6　スマートモビリティ（日本郵船様，MTI様）

安全向上につながる船舶IoTプラットフォームの取り組みを進めています（**図6**）．コンテナ船をはじめ，いろいろな船に対応させていくとともに，船対船などコネクティッドな世界を実現していきたいと考えています．

中期経営戦略「Your Value Partner 2025」

2018年秋にNTTグループの中期経営戦略「Your Value Partner 2025」を発表させていただきました．国が端末分離の動きを進める微妙な時期でしたが，ドコモにはマーケットリーダになるという考えで料金値下げを発表してもらい，その内容を不誠実にならないよう中期経営戦略へ盛り込みました．振り返ってみますと1985年に固定電話に競争が導入されたときに，端末分離がなされています．固定電話の電話機が分離された結果，電話機の市場が非常に広がりました．端末を分離することで通信市場や端末市場の競争が活性化するべきであり，それが健全な状況ではないかと考えています．一方で，ドコモは厳しくなるわけですが，そのような状況に自らが入っていくことで，マーケットリーダになりながら，より良いサービスをお客さまに提供していく，そういう会社になっていこうという考え方で取り組んでいきます．

■今後の動向

今回の中期経営戦略は3年，5年，7年の節目をイメージしています．特に3年以内には5Gが開始され，7年目には固定電話がすべてIP電話に変わります．一方で，社会はグローバリズムとブロックリズムが並存する状態が数年間続くのではないかと考えています．そのような中，2025年の大阪万博の開催が決まりました．NTTとしてもさまざまな取り組みを進め，1年半後の東京オリンピック・パラリンピック，7年後の大阪万博などのビッグイベントにトライしていきたいと思います．

また，ITに関する動向では，ムーアの法則が終焉する中で，新しいアーキテクチャや方式が求められてくる一方，7年後には労働人口の半数がロボット化されるという予測も出ています．言い方を変えると，個人個人がもっと豊かな仕事や文化活動に従事できることを意味しており，私たちもそれをサポートすることで市場が広がるものと考えています．

■さらなるフェーズチェンジ

通信あるいはIT事業者としてのフェーズチェンジでは，NTTのビジネスモデルは前述のように，B2CからB2B2Xへ変化してきています．また，端末完全分離により全面競争となり，通信サービスからデジタルサービスへ，インフラはクラウドから仮想化・AI化へ，そしてアクセスは5G・スマートデバイスへ変化していくことになるのではないかと考えています．

■中期経営戦略の全体像

NTTは選ばれ続けるYour Value Partnerになりたいと考えており，その実現のため，中期経営戦略では成長投資とコスト削減を両立しながら，利益拡大を図るため，ROIC（投下資本利益率）をKPI（Key Performance Indicator）として導入しました．

中期経営戦略を考えるうえで，NTTグループのミッションは，社会的課題の解決であり，ビジョンとして体現するのが，選ばれ続けるYour Value Partnerです．それにより持続可能な社会（SDGs）とSociety 5.0の実現に貢献していきたいと考えています．NTTグループがもともと持っている公共性と企業性をバランスさせながら，パートナーと一緒に社会的課題を解決していくことが，私たちの使命ではないかと思います．

めざすのはYour Value Partnerですが，主役は人です．イノベーション・技術開発・研究開発を行うのもやはり人です．その規範は，「つなぐ」「信頼」「誠実」です．特に「つなぐ」はネットワークをつなぐという意味もありますが，これからはモノをIoTでつなぎ

ますし，システムもつなぎます．あるいは人と人をつなぎ，現在と未来もつなぐことをお手伝いする概念も含まれています．

中期経営戦略は4つのブロックで構成されています（**図7**）．お客さまのデジタルトランスフォーメーションをサポートし，そのために自らのデジタルトランスフォーメーションを推進する．同時に人・技術・資産を活用して成長する．そしてベースにあるのは，ESG経営，あるいは株主還元になります．その実現のために10個の施策をセットしました．今回は研究開発に関係するところをピックアップして紹介します．

⑴　5Gサービスの実現・展開

次のネットワークとして5Gがありますが，5Gは公衆網ですので，これにプライベート，例えば工場内，車内などいろいろなネットワークや機能，システムが足されて，エンドーエンドが連携されたサービスになります．**図8**の上にオーバーレイソリューションがありますが，社会システムとして提供するには，ネットワークサービスに，いろいろなものをコーディネートとしていく必要があります．さらに5Gといっても，基地局までは光ファイバネットワークですので，トランスポート部分が下にあり，それも連動してもらわなければいけません．つまりすべてをオーケストレーションする機能配備とマネジメントが必要で，それらはソフトウェアディファインド化されていきます．オーバーレイソリューションの1つがラスベガスで行っているコグニティブ・ファウンデーションの事例になります．

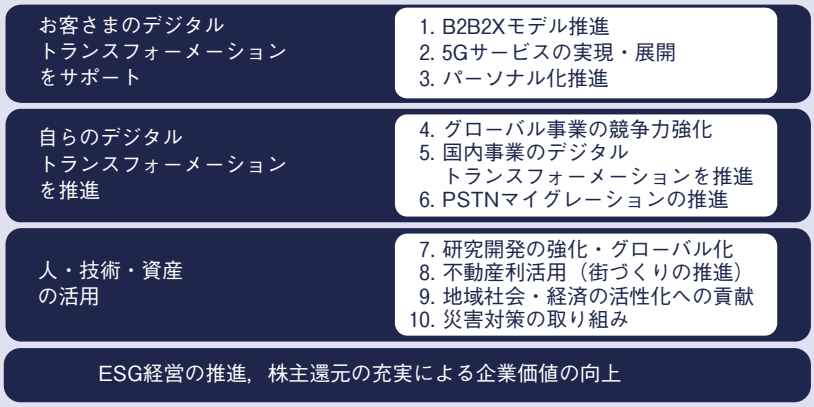


図7　中期経営戦略

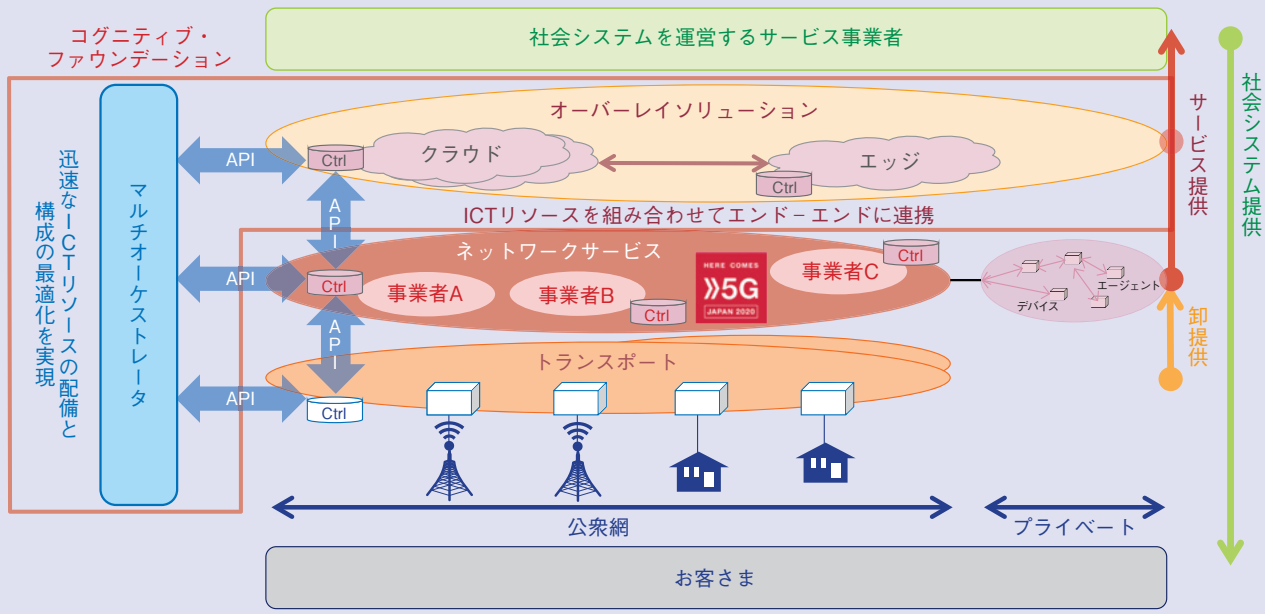


図8　5Gサービスの実現・展開（3階層モデル）

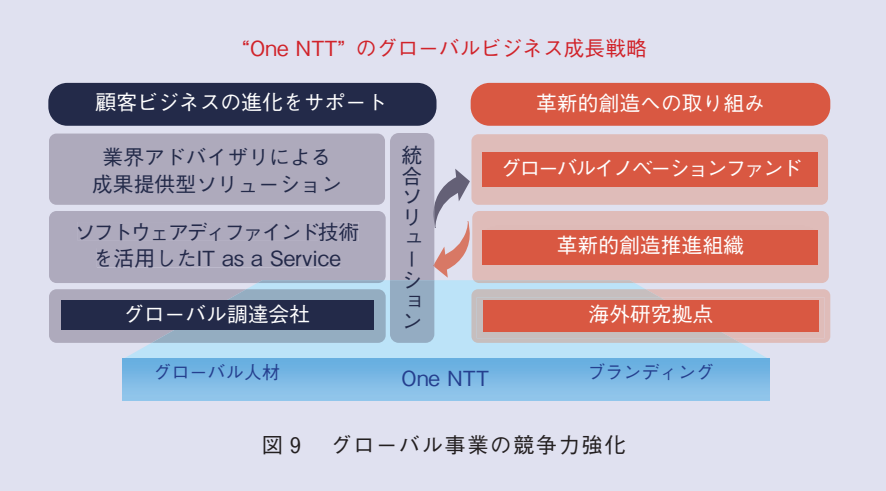


図 9　グローバル事業の競争力強化

図10　地域社会・経済の活性化への貢献

⑵　グローバル事業の競争力強化

2019年７月を目標にNTTコミュニケーションズグループとDimension Dataグループを，グローバルの会社と日本国内をメインとする会社の２つに再編をしていく考えです．One NTTのブランドで再編した会社では，お客さまの事業の進化をサポートしていきたいと思っています（**図９**）．そのために，業界アドバイザリによる成果提供型ソリューション，ソフトウェアディファインド技術を活用したIT as a Service，グローバル調達会社を通じた効率化により，お客さまにデータセンタからアプリケーションまでを統合したさまざまなソリューションを提供します．

しかし，それだけではお客さまのデジタル化は実現できません．革新的創造の取り組みが含まれていないと，魅力的なソリューションにはなりません．そのために，長期的な開発を担う海外研究拠点，そしてグローバルイノベーションファンドをつくりました．イノベーションファンドは，新しい事業を立ち上げるのではなく，中期的に人をベースに新しい事業に取り組みたい方をつなぎ，インキュベーションしていくことが目的です．米国人をヘッドとし，米国に立ち上げました．そして革新的創造推進は，アドバイザリ機能の高度化を担います．短期で，デジタルあるいはスマートワールドをお客さまに提案できるチームです．このように，長期，中期，短期の取り組みをソリューションの中に取り込んでいきます．

⑶　研究開発の強化・グローバル化

研究開発については，共同研究を強化します．通信やITを突き詰めていくと，最後は自然，ナチュラルになるのではないか，ナチュラルにならないとお使いいただけないのではないかと考えています．ナチュラルな認識，手法，使い方をもっと研究していきたいと思います．また，非常にセキュリティの高い認証技術や量子計算理論，バイオメディカル技術等，現在よりさらに先の基礎研究については海外を起点に強化をしていきます．成長投資として，現在より１割ほど上げて５年間で２兆円を投入します．これ以外に5Gに関するインフラ構築等の投資を５年間で１兆円投入します．

⑷　地域社会・経済の活性化への貢献

内閣府はスーパーシティ構想，国土交通省ではコンパクトシティ構想が進められています．街をどうしていくか，日本にとって大きな課題になっています．そこにNTTグループの最新技術，設備，拠点を利用し，日本の各地域をサポートできないかと考えています（**図10**）．最近では，社会主義的（ナショナリズム，ブロックリズム）な動きと自由主義的（グローバリズム，ボーダレス）な動きが対立するような概念が

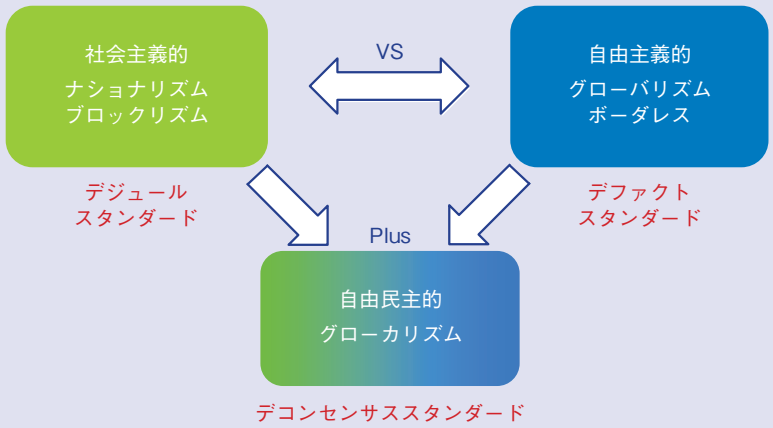


図11　Global ＋ Local

あります．ナショナリズム，ブロックリズムはデジュールでスタンダードが決められ，グローバリズム，ボーダレスはデファクトでスタンダードが決められると考えています．これから地域社会と一緒に課題解決を進めていくと，グローバルであり，ローカルであるという意味で，グローカリズムという概念が強く出てくるのではないかと思います．そして，ローカルが7～8割を占める構造になり，その場合はデジュール，デファクトに対し，デコンセンサスでスタンダードが決まるのではないかと考えています（**図11**）．

⑸　災害対策の取り組み

最後に災害対策の取り組みです．2018年，日本は非常に多くの災害に見舞われました．これまで通信ネットワークの信頼性向上，重要通信の確保，早期復旧の取り組みを行ってきました．今後もさらに，通信インフラを強靭なものにしていかないといけないと考えています．そのため，AIを使ったプロアクティブな災害対策なども必要になってきます．また，外国人の方も増えてきますので，外国語を含めた適切な情報発信の充実にも取り組んでいきます．

■中期目標

これまでお話してきた施策を実行することにより，中期目標では，EPS一株当りの利益を5年間で5割増し，コストは8000億円削減していきます．EPS成長は利益で実現したいので，海外売上高は＄18Bから＄25Bに伸ばし，営業利益率を現在の3％から7％にまで上げたいと考えています．投資の効率的な回収として，ROICは8％にセットアップします．

NTTは＄106Bの収入，グローバルの収入比率は，まだ19％ぐらいです．Fortune Global 500では55番目です．一方で，すでに190カ国以上でネットワークサービスを提供しています．データセンタのスペースは世界2位です．そして，30万人ほどの社員がいます．

自己変革を加速し，Your Value Partnerへ

過去1985年の電話収入は全体の83％でしたが，現在は携帯電話の音声収入を入れて18％です．つまりそれ以外がかなり大きくなってきています．これが30年ほどの変化ですが，さらに自らのデジタル変革を推進して，選ばれ続けるYour Value Partnerになっていきたいと考えています．その結果，ポートフォリオがかなり変わっていくとは思います．新たなNTTがどういうNTTになるかを支援いただき，また，一緒に議論させていただきながら，事業を進めていきたいと思います．

特　集

NTT R&Dフォーラム2018(秋)基調講演

世界をSMARTに，技術をNATURALに

川添　雄彦（かわぞえ　かつひこ）

NTT取締役　研究企画部門長

本記事では2018年11月29～30日に開催された「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」での，川添雄彦NTT取締役 研究企画部門長の講演を基に，NTT R&Dの最新の取り組みを紹介します．

B2B2Xから世界の変革へ

これまで，NTT研究所は，自社のサービスやシステムのための研究開発を中心に進めてきましたが，NTTの事業戦略がB2B2Xモデルの推進に移行してから，研究開発もパートナーの皆様との価値創造に資するものに比重を置くようになりました．これまで，数多くの皆様と革新的なコ・イノベーションを図ることができています．

例えば，2014年，三菱重工様とNTTは「社会インフラ×ICT」の連携に合意しました．三菱重工様とNTT，事業領域が異なる2つの企業が，ある技術をきっかけとして，製造業に大きな変革をもたらす発明を生み出すことができました．三菱重工様には，NTTの幅広い研究成果の中から，私たちが思いもしなかった技術に目をつけていただきました．それは，光ファイバに関する技術でした（**図1**）．

NTTが世界に先駆けて開発したフォトニック結晶光ファイバは，内側に「空孔」を設け，その中央に光を閉じ込め伝搬させます．空孔の直径や間隔を変えることで，ファイバ内の光の屈折率を細かく制御し，高出力・高品質の光伝送を実現しています．

この通信用の光ファイバ技術を加工用レーザに応用する，これが協業のポイントです．光のレベルは，通信用途

図1　製造業の変革

と比べ１万倍以上と条件が違うため，新たな課題が生まれましたがそれを解決し，切断・溶接用のレーザ加工機に通信用の光ファイバ技術を転用しました．これまでわずか数メートルしか伝送できなかったシングルモードの加工用レーザ光を，数10倍も延長し伝送できるようになりました．私たちNTTだけでは見つけることのできなかった新しい価値を，三菱重工様に発見していただいた，それがまさにB2B2Xによるコ・イノベーションだと考えています．

三菱重工様との事例では，はじめは三菱重工様のビジネス課題を解決しようという取り組みでしたが，結果として製造業を大きく変革するような成果となりました．今から思えば，これが１つの世界の変革であったと思います．

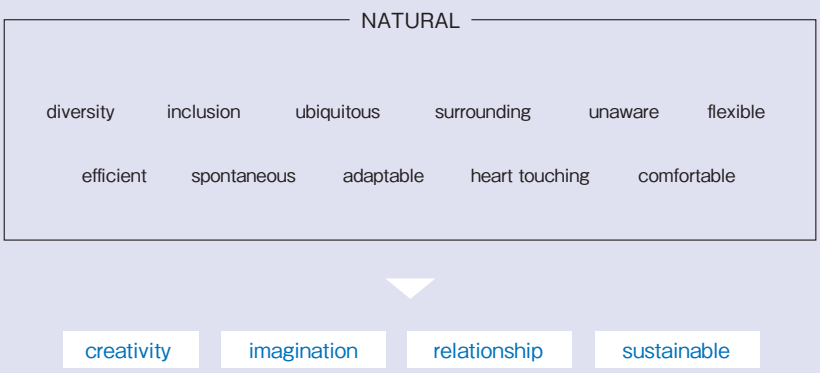


図２　Natural

図３　感動を伝える超高臨場感通信

SMART WORLD実現に向けたキーワード「Natural」

R&D for SMART WORLD．R&Dによる世界一，世界初，そして世界に驚きを創出するような革新的な技術を基に，さまざまなパートナーの皆様とのコ・イノベーションを通して，社会や産業界のデジタルトランスフォーメーション（DX）による課題解決を推進し，SMART WORLDを実現していきます．そのために，私たちは今後，さまざまな技術領域をより一層強化していきます．

国籍，年齢，バックグラウンド，多様な人々が暮らす世界で，誰もがテクノロジの恩恵を受け，DXを進めるためには，各技術をどのように進展させるべきか．私たちはNaturalがキーワードだと考えています（**図２**）．テクノロジがさまざまな人々の生活を周囲から自然に見守り，時に行動を効率良く支援し，時に感情に訴え，人と地球に心地良い環境を提供する世界．それはやがて，人がより人間としての価値を高めることができる世界を実現します．そのような世界の実現に向けての取り組みをいくつか紹介します．

感動を伝える超高臨場感通信

2018年12月１日から4K/8Kの実用放送が始まりました．この映像の高解像度化で今まで以上にTVの臨場感が増します．そして次のステップとして，時間と空間の壁を越えて，あたかもその場にいるような体験や感動をもたらす世界の実現．それが，NTTの取り組む超高臨場感通信です（**図３**）．

例えば，2018年3月31日に横浜アリーナで実施された「東京ガールズコレクション2018」では，ファッションショーの模様をリアルタイムで遠隔のライブビューイング会場に伝送し，多くの人にイベント会場の様子をご覧いただきました．Kirari!の超ワイド映像合成技術で複数の4Kカメラの映像をリアルタイムに自然につなぎ合わせ，観客の目の前に広がる臨場感の高い映像を表示しました．また，縦型の透明ディスプレイに流す映像や，3D・VR，タブレットにマルチアングルで流す映像は，Kirari!のAdvanced-MMT技術で絶対時間で同期表示させました．Kirari!は，まるでその場にいるような体験をあらゆる場所で感じることができる超高臨場感通信技術です．現地ならではの熱気や緊張感など，その場でしか感じることができない感覚をも遠隔地に届けます．めざしているのは「感動の共有」です．

Kirari!は2015年にそのコンセプトを発表してから，日々進化してきました．一見，擬似3D表示の部分が注目されますが，むしろ重要なのは，被写体映像や音声といった要素をそれぞれ分解し，個々に伝送した後に，伝送先の空間に合わせて再構成をすることで，よりNaturalな，臨場感のある空間を実現する点です．

あるフィギュアスケーターがトップレベルの大会で披露した演技に感動したことがあります．彼女がいろいろな思いを込めた集大成の大会で，残念ながら前半のショートプログラムで大きく出遅れてしまいました．彼女は次の日，後半のフリーで会心の演技を披露して，最終的には6位入賞となりました．あの演技を終えたときに彼女が天を仰いで涙した，その姿に感動した人は世界中でも多かったと思います．では，私たちは，あのとき，何に感動したのでしょうか．

目の前の演技だけではなく，彼女が子どものころから歩んできた道のり，大会に賭ける思い，ショートプログラムの失敗というストーリーが，あのとき，走馬燈のように駆け巡り，目の前の映像と掛け合わされたからこそ感動したのではないでしょうか．Kirari!は，さらに進化し，ただありのままに映像音声を伝えるだけではなく，過去の経緯や知識などストーリーを踏まえて，人間の感性や心理をゆさぶることをめざします．人の心にまで感動を伝える臨場感通信，これが私たちのめざしているNaturalです．

人の心を汲むAI

人間の気持ちを，Naturalに伝えるAI（人工知能）．聞く・話すAIの技術は，最近では家電製品にも取り込まれ，日常生活に普及してきました．機械とやり取りしていることを意識せず，Naturalに人間の気持ちを伝えるためには，音声対話技術の進展が不可欠です．例えば，会話の多くの時間を占める雑談についてもAIが対応することで，人間とのコミュニケーションが円滑になるため，NTT研究所でも雑談対話技術の研究開発に取り組んできました．

さらにAIシステムにキャラクター性を持たせることで親しみを増し，よりNaturalに対話可能なシステムを現在開発しています．心地良い会話を実現するために，言葉だけでなく頷きなどの動作で反応したり，相手の考えを支持する言葉を返したり，会話の内容を深めるために，関連する質問を生成するなどの機能を開発し，黒柳徹子さんのアンドロイド「totto[1]」に導入しました．

AIが周りの物や状況を認識する「見るAI」についても，よりNaturalになっていきます．これまで，NTT研究所ではロバストに画像を認識する技術の研究開発を進めてきました．例えば，少ない参照画像から確実に同一であることを判定するロバストメディア探索技術，衛星などの観測画像から変化点を瞬時に判定する変化点検出技術などです．

さらに，このたび，画像認識技術を大きく発展させる，変形対応アングルフリー物体検索技術を開発しました．AIが認識する物体は必ずしも形が変わらない物だけではありません．この新たな認識技術で，例えば，袋に入った製品など，形の変わる物体も，その同一性を判別することができるようになりました．これにより，画像認識AIの活用範囲が大幅に広がると考えています．

また，聞く・話す・見るAIの性能は，今後，これ以上性能を上げなくても十分というときがやってきます．私たちはさらにその先，人間の思考を助け，人とAIの共創に向けた「考えるAI」がより重要となっていくと考えています．今のtottoの技術はまだ徹子さんのキャラクター性を実装した段階ですが，今後は徹子さんの価値観や

人格などをAIで扱えるようにする必要があります．さまざまな価値観や人格を踏まえ，答えが１つではない複雑な問題についても人間の思考を助ける存在になる，それがNTTのAIがめざすところです．

将来的には，世界共通の揺るがない規律や規則，道徳を満たしながら，地域や慣習などから生まれるさまざまな価値観の違いを吸収するAI，いわば「寛容なAI，そして誠実なAI」をめざしていきます（**図４**）．

ストレスフリーなデバイス

次に，ストレスフリーなデバイスについてお話させていただきます．携帯電話，スマートフォンなどの進化の先，次の個人向け端末が何かを考えたとき，アプリや設定に支配されない端末・デバイスが必要になると考えています．

CUzoは，人やランドマークなど，あらゆるものに「かざす」という自然な動作から，この透明なディスプレイを通じて，自分の国の言葉で観光地の情報を入手したり，初めて訪れる街でも分かりやすく道を案内したり，ディスプレイに表示される翻訳結果を「顔を見ながら」共有し，対話ができる多言語翻訳をしたり，といったサービスの提供をめざします（**図５**）．アプリケーションをいちいち起動して，操作する，そんな煩わしさをなくし，人の自然な振る舞いから端末がサービスを提供する，Naturalな体験をめざしています．

このシステムは，パナソニック様とのコラボレーションによって開発を進めてきました．NTTで開発した，スマートフォンなどデバイス内で行われていた処理機能を仮想化し，クラウドやエッジ上に配置するデバイス機能仮想化技術により，簡易な端末でも高機能なサービスを実現します．

さて，こういったデバイスが，アプリや設定を意識する必要がなくなった後，さらにその次はどのように変わっていくのでしょうか．私たちは，将来，目に見えるデバイスを意識する必要はなくなり，周囲のさまざまな物が，人々の生活を見守る世界が訪れると考えています．例えば，部屋にあるさまざまなICT機器が連動し，壁にかけたレインコートが揺れたり床が濡れていたり

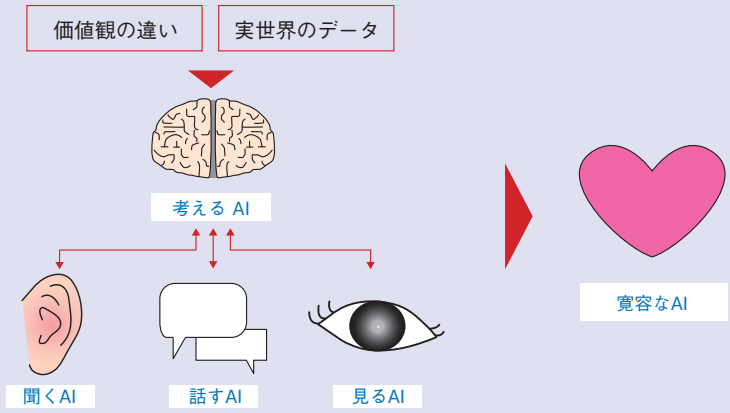


図４　人の心を汲むAI

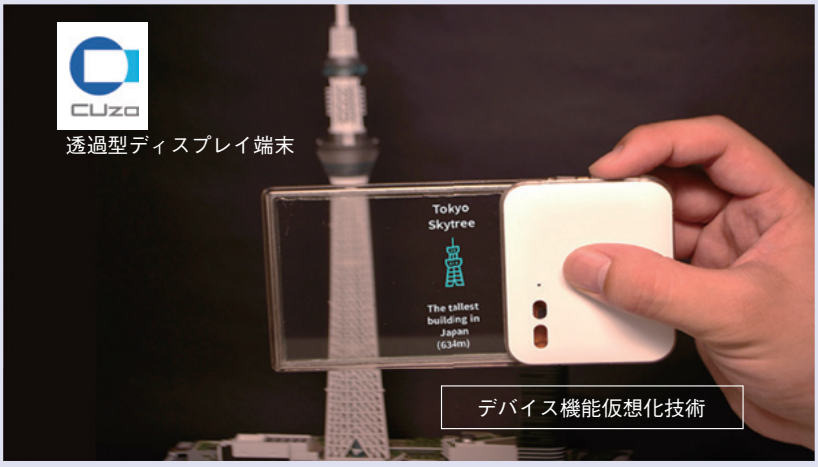


図５　ストレスフリーなデバイス

するように錯覚で見せ「今日は雨が降る」ということを自然に伝えるなど，これもNaturalの１つの姿です（**図６**）．

図６　デバイスを意識する必要のない世界

このコンセプトに取り組むため，新しいプロジェクトを立ち上げます．プロジェクト名はPoint of Atmosphere．これからの私たちの取り組みにご期待ください．

社会に溶け込む未来のネットワーク

さまざまなサービスを支えるネットワークについても，よりNaturalに進化していきます．

レイヤをまたがり機能・役割を統合する次世代のネットワーク．社会の秩序，重要度を理解し，最良な選択を意識せず，Naturalに動いていく次のネットワークです（**図７**）．そのために，私たちが取り組んでいる仕組みが，Cognitive Foundationというレイヤの異なる複数のリソースを一元管理して運用していく仕組みです．ラスベガスで行われている公共安全ソリューションでは，映像監視のリソースを柔軟に適応するため，状況に応じてカメラやセンサ，エッジ，ネットワーク，クラウドなど，さまざまなICTリソースをCognitive Foundationが最適に一元管理しています．

現在は，まだ基本的な自動化にとどまっていますが，今後は学習を重ねることで，ネットワークAIにより，時々刻々変化する環境でリアルタイムに全体最適制御を行う，より高度な連携動作をめざします．人，街，モビリティ，エネルギーなどの領域に広げ，社会，アプリケーション，さまざまなレイヤにおいて，それぞれにかかわる複数の企業の協働から，サービス，デバイスまでをオーケストレーションすることで，社会全体の最適化を，よりNaturalに実現します．そのために，スケーラブルなデータ処理基盤や超セ

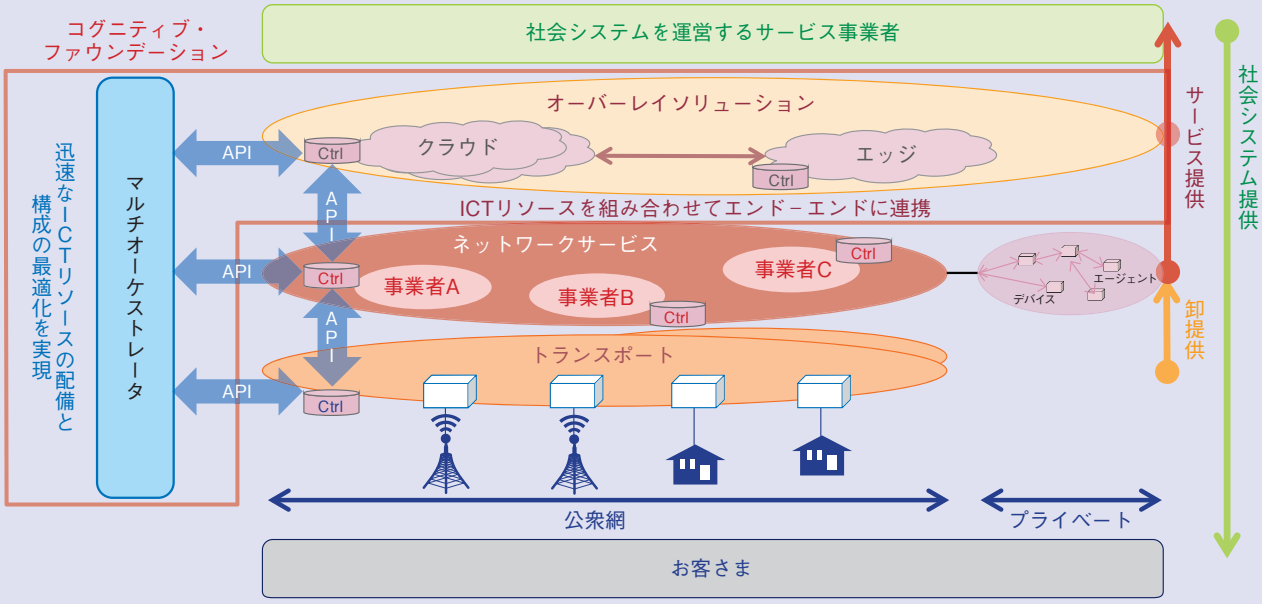


図７　社会に溶け込むネットワーク

キュアな認証基盤技術の研究などにも取り組んでいきます．

光で難問を解くコンピュータ

人間がよりNaturalに，より豊かに暮らしていくためには，コンピュータの能力をより一層，高める必要があります．現在のノイマン型コンピュータの限界を超えるためにNTTでは，「光で難問を解く新しいコンピュータ」，LASOLVの研究開発に取り組んでいます（**図8**）．現在のデジタルコンピュータではさまざまな問題を数学の問題に置き換えて解いていますが，LASOLVは数学ではなく，物理の問題として解くことで，従来のデジタルコンピュータでは解くことが難しかった難問が解けるようになりました．

LASOLVは，NTTが長年，開発を進めてきた最先端の光通信用デバイス，位相感応増幅器を用いて生成した光パラメトリック発振器パルスを用いて実現しています．長さ1 kmの光ファイバのリングの中を流れる光パルスの列．パルス間の相互作用を光パラメトリック発振器と問題設定ユニットで表すことで，大規模な組み合わせモデルの最適化問題を解くことを可能としました．

これまで比較的単純なグループ分け問題を解くことができていましたが，今回，日本地図の4色塗り分け問題やスケジューリング問題など，さまざまな問題へと拡大できるようになりました．例えば，「住宅地区」「商業地区」「工業地区」「緑地」の4つの役割がそれぞれ隣り合わないようにすることが，より良い街へと発展する条件であるような場合に，各区域を1つひとつ隣り合わないように割り振っていく，町づくりのシミュレーションを考えます．従来のデジタルコンピュータでは，短時間では解くことのできなかったこの問題を，非常に高速に解くことができるのがLASOLV の魅力です．

また今回，LASOLVのソフトウェアについても，ライブラリの大幅な拡充を進めるとともに，ソフトウェアの開発環境も進化させ，専門家だけでなく一般のプログラマにも扱いやすい環境を開発しています．

さらに今後は，ハードウェアのビット数を2048ビットから10万ビットへと増やすことで適用領域を拡大します．例えば創薬．薬となる化合物を探す基礎研究の段階で，より良い化合物の組み合わせを早く見つけることができるようになることで，短期間で新しい薬を創り出すことが可能になります．また，渋滞解消や都市計画では，ある地点からある地点までの経路，何カ所もめぐる際にどこを通るともっともスムーズなのかを計算し，より良い交通経路を導きます．AIの領域では，機械学習で用いるデータセットの中から求めるデータに近いサンプルを導き出すことができるようになり，より強固な学習につなげることができるようになります．

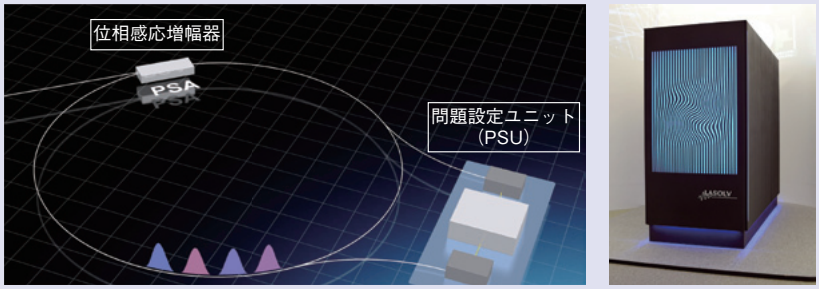


図8　光で難問を解くコンピュータ

イノベーションを加速させる取り組み

ここまで私たちの研究成果や今後の方向性について紹介してきましたが，さらなるイノベーションを加速するための新たな施策について詳細を発表します．それは，研究開発のグローバル化推進で，3つの施策を実施します．

1番目は研究成果のグローバル展開．研究所の研究成果を海外に届け，各地域に合わせた展開を進めていきます．

2番目は研究ターゲットのグローバル化．グローバルニーズに応じた研究開発の強化を行っていきます．

そして，3番目は，海外での研究拠点の設立です（**図9**）．現在日本では，イノベーションの源泉となる基礎的な科学技術の衰退が危惧されています．これまで紹介してきた取り組みを根幹として支える基礎研究は，さらなる飛躍をめざすために非常に重要だと考えています．この基礎研究の拡充と強化

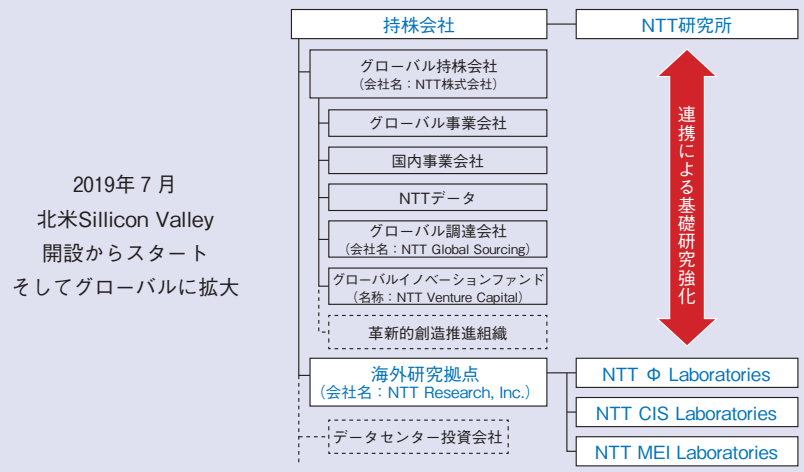


図９　海外研究拠点の設立

のために，新たに海外に基礎研究拠点としてNTT Research, Inc.を設立します．

NTT Research, Inc.では，合わせて３つの研究所を発足します．まず１つは，物理学（PHysics）と情報学（Informatics）の共創領域（Φ“PHI”）となる，量子計算科学に関し，世界を大きく変革するような新発見・新技術の発明をめざす，NTT Φ Laboratoriesです．Φ Labs.では，将来の量子コンピューティング技術につながる量子論の基礎研究と，その情報処理への応用など全く新しい理論の構築に取り組みます．Φ Labs.所長には，国立情報学研究所・スタンフォード大学の名誉教授で，LASOLVの研究開発でこれまで連携を進めてきた内閣府の革新的研究開発推進プログラムのプロジェクトマネージャを務める山本喜久教授をお招きします．

２番目のNTT CIS Laboratoriesでは，高度な暗号理論と，複雑な分散環境下で，安全に情報をやり取りするための基礎理論となる暗号情報理論に取り組みます．CIS Labs.所長には2017年，暗号分野にて世界的にもっとも権威ある賞の１つである，RSA Conference Awardを受賞したNTTフェローの岡本龍明が務めます．

３番目のNTT MEI Laboratoriesでは，人とICTがよりNaturalな関係となっていくための生体情報処理に取り組んでいきます．MEI Labs.所長には，心臓循環器系の医師として国内外に幅広い影響力を持ち，ICTに関しても高い見識をお持ちの医学博士，榊原記念病院の友池仁暢顧問をお招きします．これら３名の所長は，それぞれの専門分野でのグローバルな活躍を通じ，幅広いグローバル人脈を持つことが選任のポイントです．

まずは，これらの領域で研究が進んでいる北米シリコンバレーに研究所を設立し，さらに，世界各地に拠点を展開していきます．この基礎研究に重きを置いた海外拠点の研究開発により，NTTのみならず，国内外の大学，コラボレーションパートナーの皆様とともに，基礎研究の頂きをめざして，革新的なイノベーションに資する世界に類をみない成果を出していきます．

おわりに

NTT研究所は，これまで時代の節目に世界に先駆け，新たな技術の可能性を示してきました．これからも，インパクトのあるさらなる技術革新をめざし，時代と向き合いながら，次なる展開をつくり出していきたいと思います．

「未来に向けて，その先を描く存在として」NTT R&Dは，Naturalな未来，Smart Worldの実現をめざして，世界に変革をもたらす研究に取り組んでいきます．

■参考文献

⑴　tottoの部屋 http://totto-android.com/

「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」
（Vol.26 No.3，2018年10月）から紹介いたします

Technology Reports　5G　NR　LTE

Release 15標準化特集　―完成した5G初版仕様とLTE/LTE-Advancedのさらなる高度化―

3GPP Release 15標準化技術概要

5Gイノベーション推進室　永田 聡（ながた さとし）　武田 和晃（たけだ かずあき）
無線アクセス開発部　梅田 大將（うめだ ひろまさ）　高橋 秀明（たかはし ひであき）
ネットワーク開発部　青柳 健一郎（あおやぎ けんいちろう）

3GPPにおいて，5Gの商用化に向けたRANおよびCNの詳細仕様の検討（Work Item）が進められ，2017年12月にLTE，NRのエリアと組み合わせてサービスを提供するノンスタンドアローン向けの仕様が完成した．また，2018年6月にNR単独でエリアを提供するスタンドアローン向けの仕様とともに，LTE/LTE-Advancedの高度化仕様を含めたRelease 15の標準化が完成した．本稿では，3GPPのRelease 15で完成したNRおよびLTE仕様について概説する．

1. まえがき

国際的な移動通信システムの標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）において，第5世代移動通信システム（5G）の初版仕様が含まれるRelease 15の策定を2018年6月に完了した．本仕様では，5G向けのユースケース・要求条件を満たすべく，従来のLTE/LTE-Advancedと後方互換性の無い新しい無線通信方式（NR：New Radio）や，新しいコアネットワーク（5GC：5G Core Network）の規格が策定された．同時に，LTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図る仕様策定も，継続して行われた．本稿では，これらのRelease 15で仕様化された無線，コアネットワークの主要機能とともに，その検討で考慮された背景を概説する．

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます．

2. Release 15仕様の機能概要

3GPP Release 15では，NRおよび5GC向けの新規仕様や，LTE/LTE-Advanced向けの拡張仕様として，従来の移動通信技術に求められていた高速・大容量（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）を達成する技術に加えて，高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）を実現する技術の検討が精力的に行われた．さらに，LTE/LTE-Advanced向けには，IoT（Internet of Things）端末を多数収容する（mMTC：massive Machine Type Communications）ための技術の拡張も行われた．**図1**は，これら3つの利用シナリオに対して仕様策定されたNR，5GC，およびLTE/LTE-Advanced向けの機能を示している．

3. Release 15仕様で策定された新たな無線アクセス機能

3.1 NR向けに規定された機能

NRに対しては，eMBBをノンスタンドアローン*1運用，およびスタンドアローン*2運用で提供する技術が規定された［1］．ノンスタンドアローン運用を提供する主な技術にLTEとNRのDual Connectivity*3がある．また，NRでURLLCを提供する技術も規定された．

(1) eMBB向け機能

eMBBを実現するNRの主な特徴として，(a)高周波数・超広帯域伝送，(b)Massive MIMO（Massive Multiple Input Multiple Output）*4伝送，および(c)柔軟なフレーム*5構成・物理チャネル*6構成が挙げ

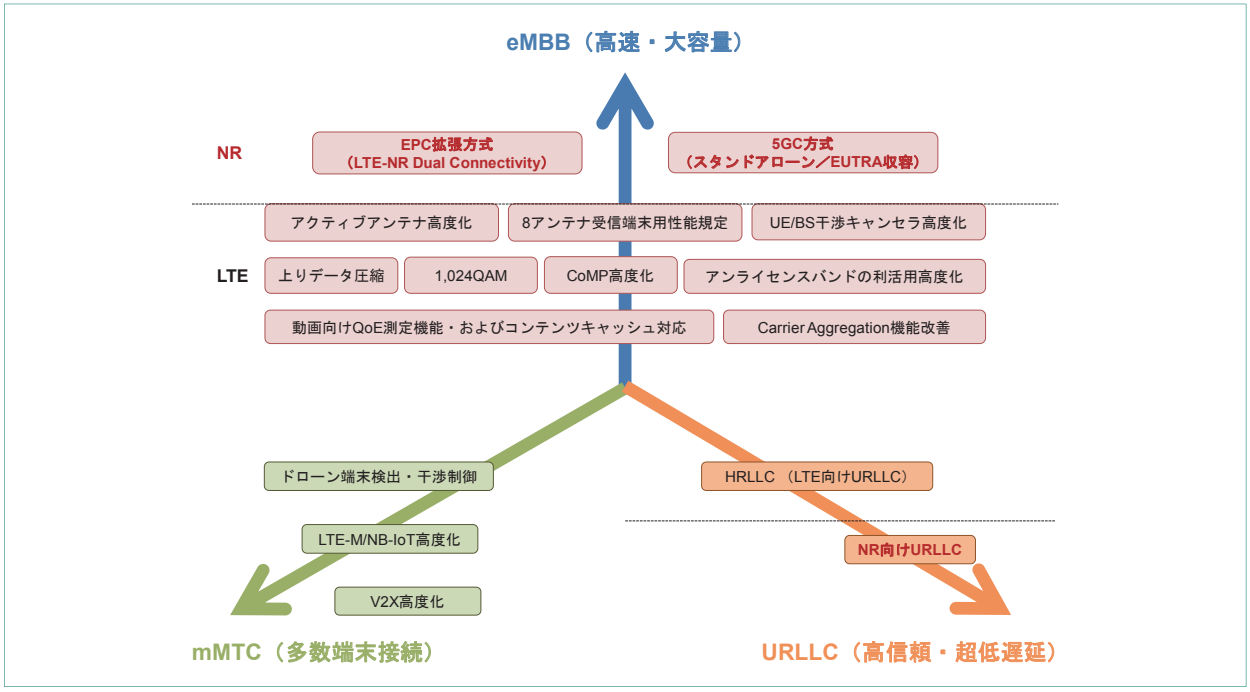


図1　Release 15で仕様化したNRおよび5GC，LTE/LTE-Advanced向けの主な機能

*1　ノンスタンドアローン：端末が複数の無線技術を介して移動通信網に接続する形態．

*2　スタンドアローン：端末が単独の無線技術を用いて移動通信網に接続する形態．

*3　Dual Connectivity：マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し，それらの基地局でサポートされる複数のコンポーネントキャリアを用いて送受信することで，広帯域化を実現する技術．

*4　Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送方式において，より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により，高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や，より多くのストリームの同時伝送を実現する技術．これらにより，所望のサービスエリアを確保しつつ，高速なデータ通信を実現する．

*5　フレーム：エンコーダ・デコーダが動作する周期，およびそれに対応する長さのデータ信号．

*6　物理チャネル：周波数，時間などの物理リソース上にマッピングされ，制御情報や上位レイヤのデータを伝送するチャネルの総称．

られる．以降でこれらの特徴を解説する．

(a)高周波数・超広帯域伝送

Release 15のNRにおいては，52.6GHzまでの高周波数帯を想定し，450～6,000MHzをFR1（Frequency Range 1），24,250～52,600MHzをFR2として無線性能が規定されている．FR1ではLTE/LTE-Advancedと同様，有線試験を前提にした仕様になっているが，FR2では，すべてOTA（Over The Air）*7を前提にした仕様となっている［2］．また，超高速，広帯域伝送を実現するために，FR1では，1CC（Component Carrier）*8当り最大100MHz，FR2では，1CC当り最大400MHzのチャネル帯域幅が規定されている．さらに，物理レイヤ*9仕様において最大16のNR CCを束ねて超高速伝送を実現するCA（Carrier Aggregation）*10やDual Connectivityがサポートされている．NRでは，このように幅広いチャネル帯域幅や，非常に高周波数帯までを対象としている点がLTE/LTE-Advancedと大きく異なる．

またNRでは，15，30，60，および120kHzの複数のOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）*11サブキャリア*12間隔をデータ送受信向けにサポートしている．これは，一般にOFDMサブキャリア間隔が共通の場合には，高周波数帯においては，低周波数帯と比較してマルチパスフェージング*13や位相雑音*14への耐性などが，大きく劣化するためである．

さらに，マルチアクセス*15方式としては，MIMO技術との親和性や周波数選択性フェージング*16への耐性が高いOFDMベースの技術が採用されている．具体的には，上下リンクともにOFDMがサポートされている．さらに，上りではOFDMに加えてカバレッジ確保のためにPAPR（Peak-to-Average Power ratio）*17の低いDFT-spread OFDM（Discrete Fourier Transform-spread OFDM）*18が，シングルストリーム伝送時に限定してサポートされている．

(b)Massive MIMO伝送

Release 15の物理レイヤ仕様では，高周波数帯において基地局で最大256，端末で最大32のアンテナ素子を用いたMassive MIMO伝送を想定した参照信号構成，ビーム制御などの要素技術が規定されている．高速，大容量通信を実現するために，下りで最大8レイヤのシングルユーザMIMO*19伝送，最大12レイヤのマルチユーザMIMO*20伝送，上りで最大4レイヤのシングルユーザMIMO伝送が可能である．

通常，高周波数帯では，伝搬損失*21によるカバレッジの減少を補うために，ビームフォーミング*22技術が重要となる．LTE/LTE-Advancedでは高周波数帯の利用を想定していないため，デジタル領域でビームフォーミングを生成するデジタルビームフォーミングの実装が前提となっていたが，高周波数帯のMassive MIMOでは実装が困難となるため，デジタルビームフォーミングとアナログビームフォーミングの併用である，ハイブリッドビームフォーミングの実装が前提となっている．その結果NRでは，初期アクセス，スケジューリング，HARQ（Hybrid Automatic Repeat reQuest）*23再送などの主要機能は，これまでの低周波数帯のデジタルビームフォーミングに加えて，新たに高周波数帯のハイブリッドビームフォーミングを考慮した標準仕様となっている［2］．

---

*7 OTA：電波伝搬空間上に規定点や測定点を設け，アンテナの放射／受信特性も含め無線性能を規定する方法，およびそれらを測定する方法．

*8 CC：キャリアアグリゲーションにおいて束ねられるキャリアを表す用語．

*9 物理レイヤ：OSI参照モデルの第一層．例えば，物理レイヤ仕様とは，ビット伝送に関わる無線インタフェース仕様のことを指し示す．

*10 CA：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより広帯域化を行い，高速伝送を実現する技術．

*11 OFDM：デジタル変調方式の1つで，情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式．高い周波数利用効率での伝送が可能．

*12 サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波．

*13 マルチパスフェージング：電波が地形や建物によって反射や回折を繰り返し，複数の電波となって受信機に到達する現象．

*14 位相雑音：局部発振信号における搬送周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動．

*15 マルチアクセス：無線システム内において，複数の端末が通信を行う際，各端末に対して複数の無線チャネルのうち，空き状態にあるチャネルを割り当てて通信を行う方法を指す．

*16 周波数選択性フェージング：建物などに反射して異なる経路で到来する信号（電波）が受信されることにより，受信信号の周波数軸上における受信レベルが一様でなくなること．

(c)柔軟なフレーム構成・物理チャネル構成

前述の通り，NRでは複数のサブキャリア間隔がサポートされており，周波数方向に広いサブキャリア間隔では時間方向であるOFDMシンボル*24長が短くなる．例えば，120kHzのサブキャリア間隔では，LTE/LTE-Advancedの15kHzのサブキャリア間隔と比較して，OFDMシンボル長は1/8となる．このように広いサブキャリア間隔を用いることで，低遅延伝送が可能となる．さらに，制御，データチャネルの割当て単位を構成するOFDMシンボル数を柔軟に変えることができる［2］．また，フレーム構成においては，上下リンクのトラフィック比に応じて，上下リンクのスロット比を柔軟に切り替えることができる．

(2)URLLC向け機能

URLLCは，自動運転車，産業用ロボット，遠隔医療などIoTの一種ではあるが高いリアルタイム性や信頼性が必要とされるミッションクリティカルサービス*25をサポート／アシストする利用シナリオとなっている．低遅延機能については，前述の通り，広いサブキャリア間隔を適用する，あるいはデータ割当てに用いるOFDMシンボル数を減らすことで実現できる．一方，高信頼性の実現に向けては，eMBBよりも低い符号化率をサポートできるよう，CQI（Channel Quality Indicator）*26，MCS（Modulation and Coding Scheme）*27テーブルをURLLC向けに新たに規定している．

3.2 LTE/LTE-Advanced向けに規定された機能

Release 15では，eMBBを実現するLTE/LTE-Advancedの拡張技術を，従来の仕様から策定を継続しつつ，周波数利用効率の向上を図る1024QAM（Quadrature Amplitude Modulation）*28の対応，アクティブアンテナシステム*29向けのOTA規定の拡充や，アンライセンスバンドを利活用する技術の拡張などが規定された．

(1)周波数利用効率向上を図るeMBB向け技術

周波数利用効率向上を図るLTE/LTE-Advancedの拡張技術を以下で解説する．

①1,024QAMのサポート

さらなる高速化に向けて，1,024QAM，およびDM-RS（DeModulation Reference Signal）*30オーバヘッド*31低減が仕様化された．

②CoMP（Coordinated Multi-Point transmission/reception）*32高度化

2つの基地局でお互いのCSI（Channel State Information）*33情報を知ることなく，異なるデータ系列をそれぞれの基地局から送信するNon-coherent joint transmissionがサポートされた．これに伴い，QCL，下り制御情報，およびCSIフィードバック機能が拡張された．

③8アンテナ受信端末用性能規定

端末での8アンテナ受信によるセルカバッレジの拡張，並びに下り8レイヤ利用による最大伝送速度向上を実現する無線性能が規定された．

④アクティブアンテナシステム向けのOTA規定の拡充

Release 13では，基本的に有線試験を前提にアクティブアンテナシステムの無線性能が規定されていた（EIRP（Equivalent Isotropic Radiated Power）*34とEIS（Equivalent Isotropic Sensitivity）*35の2項目のみOTA規定化）が，Release 15ではOTAにて規定することにより，アンテナ部を含めたエンドツーエンドの性能担

*17 PAPR：最大電力と平均電力の比．これが大きいと，信号歪みを避けるために送信側のパワーアンプのバックオフを大きくする必要があり，特に移動端末において問題となる．

*18 DFT-spread OFDM：デジタル変調方式の1つ．1ユーザの信号に対して，OFDM変調を行う前にDFTプリコーダーを乗算することでPAPRを抑えることができる．

*19 シングルユーザMIMO：同一時間周波数において，単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術．

*20 マルチユーザMIMO：複数のユーザに対する信号を同一時間・周波数においてMIMOを用いて伝送する技術．

*21 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量．

*22 ビームフォーミング：複数のアンテナそれぞれの振幅および位相の制御によってアンテナ全体に対して指向性パターンを形成し，特定方向に対するアンテナ利得を増加／減少させる技術．

*23 HARQ：誤り訂正符号と再送を併用して，受信した信号の誤りを補償する技術．

*24 OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり，OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される．各シンボルの先頭にはCPが挿入される．

*25 ミッションクリティカルサービス：3GPP移動通信網にて規定された，主に警察，消防などの公共安全機関向けに提供される通信サービス．

保を可能にする仕様が導入された．本規定が行われることで，アンテナコネクタを具備していないアクティブアンテナシステムに対して3GPP仕様に基づく性能担保を求めることが可能となる．このような構成の装置では，装置内での電力損失が低減され，複数の送受信機とアンテナを高密度に実装できることで，より鋭いビーム形成（高い利得）が可能となり，高周波数帯による電波伝搬損失の増大を補うことが可能である．

⑤各種干渉低減技術

他セル干渉を除去し，ユーザスループット向上を図るLTE/LTE-Advancedの拡張機能が，いくつか規定された．まず，データトラフィック量が少ない時間帯・エリアでは基地局のCRS（Cell-specific Reference Signal）*36の送信量を減らし，CRSによる干渉低減，および基地局の消費電力を低減する機能が規定された．基地局向けには，上り受信の干渉キャンセラ*37の性能も規定された．また，IoT端末のように，受信アンテナを1つのみ搭載する低コスト端末向けの干渉低減技術の性能も規定された．

(2)その他eMBB向け技術

周波数利用効率向上を図る技術以外にも，LTE/LTE-Advancedネットワークの運用経験を踏まえた機能改善が行われた．以下で主な技術を解説する．

①アンライセンスバンドの利活用高度化

Release 13，14で仕様化された，LAA（Licensed Assisted Access）*38の上りリンク機能が拡張された．具体的には，上りデータ送信の開始シンボルと完了シンボル位置をより柔軟に変えることが可能となった．また，端末が自律的に上りリンク送信を開始できる，Autonomous UL送信がサポートされた．

②CA機能改善

従来のCAでは，SCell（Secondary Cell）*39を設定するまでの間，以下の端末処理に遅延を要していた．

・SCell候補の測定キャリア数に応じて，候補キャリアの品質測定時間が長くなる．
・SCellで通信を開始する際，RF（Radio Frequency）回路を起動するまでに数十ミリ秒かかる．

これらの課題を解決するため，端末がIdle状態の時に，SCellの候補となるセルの無線品質を測定する仕組み，およびSCellでの通信開始前に，SCellのRF回路を起動した状態でSCellを設定するdormant SCell stateという新しい状態を規定した．

③上りデータ圧縮

TDD（Time Division Duplex）*40において，下りに比重をおく上下比が一般的に用いられており，上り送信に使える無線リソースには限りがある．限られた無線リソースで効率的に上りユーザデータを伝送するため，IPより上位のパケット（IP，UDP（User Datagram Protocol）*41，RTP（Real-time Transport Protocol）*42など）のヘッダを圧縮するUDC（Uplink Data Compression）の仕組みを規定した．圧縮のアルゴリズムは，IETF（Internet Engineering Task Force）*43で標準化されたDEFLATE*44を採用し，PDCP（Packet Data Convergence Protocol）*45レイヤでヘッダ圧縮を行う．

④動画向けQoE測定機能・コンテンツキャッシュ対応

近年のスマートフォンにおける動画視聴サー

---

*26 CQI：移動局で測定された下りリンクの伝搬路状況を表す受信品質指標．
*27 MCS：適用変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ．
*28 QAM：変調方式の1つであり，振幅と位相の双方を利用して変調する方式．定義されるパターン数に応じて16QAM，64QAMなどの種類がある．
*29 アクティブアンテナシステム：従来独立していたアンテナ素子と無線装置を一体化したシステム．一体化することで，従来型と比較して高効率なシステムを提供可能となる．
*30 DM-RS：データ復調に用いるフェージングチャネルを推定するためのユーザ個別の，基地局と移動局で既知の参照信号（パイロット信号）のこと．
*31 オーバヘッド：ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や，受信品質測定に必要な参照信号など，ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース．
*32 CoMP：ある端末に対して，複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術．複数のセルが協調して送受信を行うことにより，他セル干渉低減および所望信号電力の増大を実現する．
*33 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報．
*34 EIRP：電波放射空間上に設けられた規定点における送信電力．
*35 EIS：電波受信空間上に設けられた規定点における受信電力．
*36 CRS：下りリンクの受信品質測定などに用いられる各セル固有の参照信号．

ビスの高まりに応じて，移動通信環境での動画の品質，QoE（Quality of Experience）を向上することがオペレータの課題の1つとなっている．実ネットワークでQoEを測定するため，MDT（Minimization of Drive Test）*46の仕組みを用いて，ネットワークがQoEの測定結果を端末から収集する仕組みを規定した．同時に，動画のコンテンツキャッシュサーバを基地局の近くに設置することで，動画のダウンロード遅延を低減する仕組みも検討された．この仕組みではコンテンツサーバからデータをダウンロードする場合，端末は，EPC（Evolved Packet Core）*47を経由せず，基地局経由で直接コンテンツサーバと通信を行う．

(3) mMTC向け技術

昨今高まっているIoTへの市場の期待に応えるべく，3GPPにおいても，マシンコム通信，車間通信向けの技術を策定してきた．Release 15ではそれらの高機能化が実施され，ドローン，URLLC向け仕様の高機能化が規定された．

①ドローン端末検出・干渉制御

ドローンを用いたサービスの普及に伴い，移動通信システム上でもドローン端末へ広域なエリアでの通信を提供することの需要が高まっている．市場の期待に応えるため，3GPPでもLTE/LTE-Advancedによるドローン端末への通信提供の実現性を検討し，既存仕様においても，ドローン端末への通信を提供するために必要十分な機能を有しているとの結果が得られた．

一方で，上空を飛行するドローン端末から基地局への上り方向の干渉が増加する課題も発見された．また，ドローン端末が上空を飛行するためには，免許を必要とする国・地域も存在するため，免許を取得したドローン端末か否かをいかにネットワークで判定できるかという課題も検討された．

上り方向の干渉の課題に対しては，端末個別にオープンループ*48の送信電力制御のパラメータを変更することとし，基地局からの伝搬損失が小さくても，target SIR（Signal to Interference Ratio）*49を抑えるようなパラメータに設定することで，ドローン端末からの送信電力を抑える仕組みを規定した．

免許を取得したドローン端末か否かに関しては，ネットワーク内のHSS（Home Subscriber Service）*50と連携し，契約情報から判定する仕組みを規定した．

②LTE-M*51/NB（NarrowBand）-IoT*52高度化

Release 15では，LTEネットワークを介したIoT端末向けに，TDDのサポートや低消費電力化に関する機能拡張が行われた．

(a)Idleモード時の低消費電力化技術（Wake-up signal）

Idleモード時の低消費電力化に向けて，Wake-up signalが新たに仕様化された．通常，Idleモードの端末は，周期的に下り制御チャネルの復調を試みてページング*53情報を取得するが，ページング情報の有無は復調するまで分からないため，周期的に下り制御チャネルを復調しようとし，端末の消費電力が増大してしまう．そこで，Release 15では，Wake-up signalの簡易な検出処理で，ページング情報の有無を判断することができる仕様となり，端末の低消費電力化が期待できる．

(b)小パケット通信の低遅延化

スマートメータなどのユースケースでは，比

---

*37 干渉キャンセラ：複数の信号が合成された受信信号から1つずつ信号を検出，キャンセルしながら信号分離を行う方法．MMSEによる検出法よりも高い性能を有する．

*38 LAA：端末が，ライセンスバンドで運用しているLTEキャリアから設定情報を受けてアンライセンスバンドで無線通信を行う，無線アクセス方式の総称．

*39 SCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で，PCellでないキャリアの総称．セカンダリセルとも呼ばれる．

*40 TDD：下りリンクと上りリンクの通信を時間で区切り，送信と受信を切り替えながら通信を行う方式．

*41 UDP：インターネットで標準的に利用されるIPの上位プロトコル．TCPとは異なり，サーバと端末との間で通信が確立しているかを確認する機能あるいは送信先に届かなかったデータを再送信する機能などが省かれている．

*42 RTP：IETF（*43参照）で規格化されたIPネットワークを介したリアルタイムマルチメディア伝送用のプロトコル．

*43 IETF：インターネット技術標準の開発，推進を行っている標準化組織．

*44 DEFLATE：IETFで標準化されたデータ圧縮アルゴリズム．

*45 PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで，秘匿，正当性確認，順序整列，ヘッダ圧縮などを行うプロトコル．

*46 MDT：3GPPにて標準化されている，通信中の無線切断やハンドオーバの失敗など，端末からネットワークに対して事象の発生した位置情報やその原因などを通知し，QoEを収集する技術．

較的パケットサイズの小さいデータ送信が想定される．そこで，通常ではデータ送信が開始できないランダムアクセス*54手順中に，小さいデータ送信を開始するための手順がサポートされた．これにより，小パケット通信の低遅延化が期待できる．

(c)TDDのサポート

Release 13，14では，FDD（Frequency Division Duplex）*55バンドでの運用をターゲットとして，LTE-M，およびNB-IoTが仕様化された．Release 15では，さらにTDDバンドでの運用も可能となった．

③車間通信（V2X：Vehicle to Everything）高度化

Release 15では，Release 14で仕様化されたV2X通信の機能拡張が行われた．具体的には，V2X通信の広帯域，高速化を目的として，端末がリソースプール*56から自律的に送信リソースを選択するMode 4*57に対してCAが新たに導入された．また変調方式として，64QAMがV2X向けにサポートされた．また，より低遅延な要求条件を満たす端末能力が新たに仕様化された．

(4)HRLLC（High-Reliable Low Latency Communication，LTE向けURLLC）

近年，自動運転車，産業用ロボット，遠隔医療，VR（Virtual reality）など高いリアルタイム性が要求されるサービスや信頼性が必要とされるミッションクリティカルサービスへの需要が高まっている．そこで，LTE/LTE-Advancedにおいても低遅延・高信頼通信を実現するための機能が仕様化された．

(a)高信頼通信に向けた技術

高信頼通信に向けて，下りの制御チャネル，上下リンクデータチャネルの送受信品質を向上させるための機能が導入された．

下りの制御チャネルに対しては，従来のLTE/LTE-AdvancedではPCFICH（Physical Control Format Indicator CHannel）*58を検出してPDCCHのOFDMシンボル数を識別していた．しかし，この場合PCFICHの検出誤り・誤検出が下り制御チャネル全体の品質を制約してしまう．そこで，PDCCHのOFDMシンボル数を上位レイヤシグナリングで通知し，従来のPCFICHの検出誤り・誤検出の影響を避けることで，下り制御チャネル受信の品質を向上させる方法が規定された．

また，上下データチャネルの送受信の品質向上に向けて，同じデータを複数のPDSCH/SPDSCH，またはSPS（Semi Persistent Scheduling）-PUSCH*59/SPS-SPUSCHで繰返し送受信する機能を導入した．

(b)低遅延通信に向けた技術

低遅延通信に向けては，従来の1ms TTI（Time-To-Interval）*60に対する信号処理時間短縮と，新たなshort TTIを仕様化した．

まず，下りデータ受信のタイミングからHARQフィードバックを送信するまでの信号処理時間，および，上りデータをスケジューリングする下り制御チャネル受信のタイミングから上りデータ送信までの信号処理時間を，従来の最短4msから3msへと，25％短縮する機能を規定した．

また，従来の14OFDMシンボルから構成される1msのTTIそのものを短縮するため，7OFDMシンボルから構成されるスロット，および，2または3OFDMシンボルから構成されるサブスロットをshort TTIとして規定し，これをスケ

*47 EPC：3GPP移動通信網における主にE-UTRAを収容するコアネットワーク．
*48 オープンループ：制御の出力をフィードバックせずに，入力に対して計算を行う制御．
*49 SIR：所望電力と干渉電力の比率．
*50 HSS：3GPP移動通信網におけるユーザ情報データベースであり，認証情報および在圏情報の管理を行う．
*51 LTE-M：狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様．
*52 NB-IoT：LTE-Mよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様．
*53 ページング：着信時に待受け在圏中の端末を呼び出す手順および信号．
*54 ランダムアクセス：移動端末と基地局が上り信号の送信タイミング同期および接続を確立するために行う手順．
*55 FDD：周波数分割複信．無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで，異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式．
*56 リソースプール：大量のハードウェアを束ねて，それぞれのハードウェアが保持するリソース（CPU／メモリ／HDDなど）の集合体としたものであり，これを基にさまざまな仮想マシンが作成可能となる．
*57 Mode 4：LTE V2Xにおけるリソース割当て法の一種．
*58 PCFICH：LTEのPDCCHが送信されるシンボル数を通知するための物理チャネル．

ジューリングリソース単位とする下りデータ（SPDSCH：Short Physical Downlink Shared CHannel*61）や上りデータ（SPUSCH：Short Physical Uplink Shared CHannel*62）のリソース割当てを規定した．同時に，Short TTIのデータ割当てを実現すべく，上下リンクの制御チャネルSPDCCH（Short Physical Downlink Control CHannel），およびSPUCCH（Short Physical Uplink Control CHannel）も仕様化された．

4. Release 15 NR向けに規定されたコアネットワーク

コアネットワークの観点でNRを提供する方式として，**図2**に示す通り，既存EPCを拡張し，ノンスタンドアローン運用でNRを提供する「EPC拡張方式」と，新規に規定された5GC（5Gコアネットワーク）を導入し，スタンドアローン運用でNRを提供する「5GC方式」の2つをRelease 15で規定した［1］．

4.1 EPC拡張方式の特徴

(1)EPC Dual Connectivity

NRは高周波数帯を用いるなどの特徴から，局所的なエリア展開，限定的なカバレッジによる運用ケースも想定される．一方，VoLTE（Voice over LTE）やIoTなど，面的に十分なカバレッジを要するような既存サービスの品質を担保する必要があり，これらのサービスにおいては既存EPC設備や，LTE/LTE-Advancedで提供されるカバレッジを活用しながら，高画質な動画の視聴などの特定サービスにお

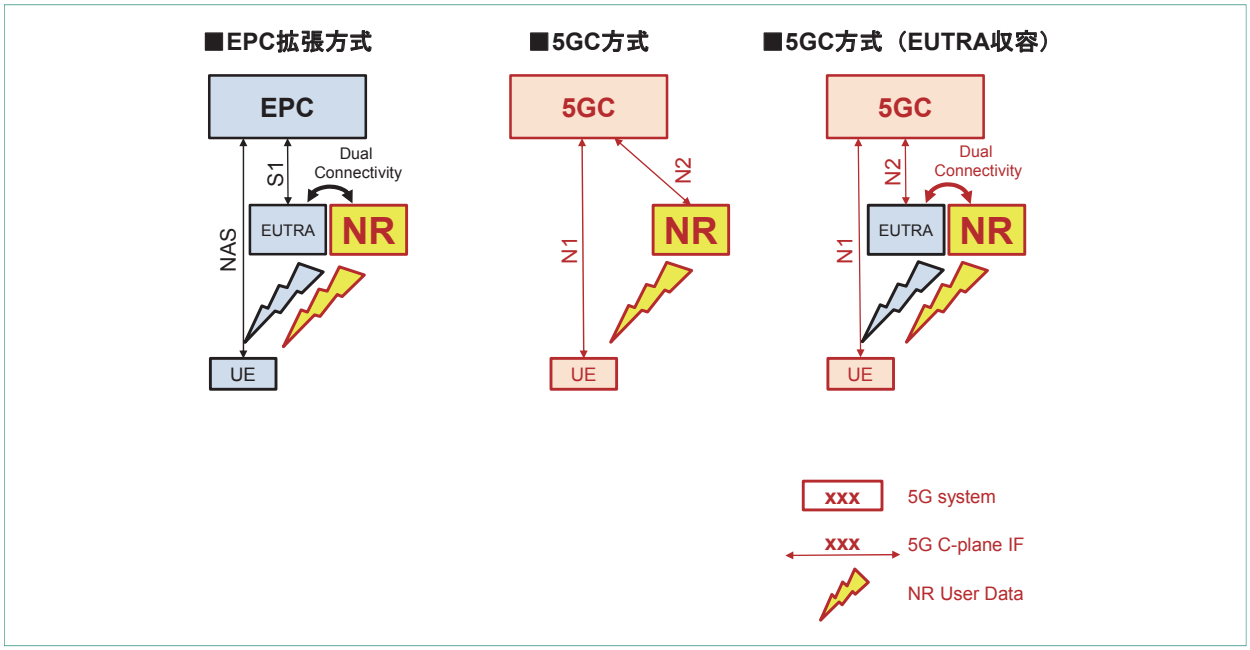


図2　コアネットワークの観点からNRを提供する方式

*59 SPS-PUSCH：下り制御情報の復調に基づいて，異なる上りデータを周期的に送信する方法．
*60 TTI：トランスポートチャネルで伝送される1データ当りの伝送時間．
*61 SPDSCH：Short TTIを適用したPDSCH．
*62 SPUSCH：Short TTIを適用したPUSCH．

いてNRを適用するといった，サービスや環境に応じた運用が求められる．EPC Dual Connectivityは，既存EPC設備の各種設定と，eNB（evolved NodeB）*63とのS1-IF（InterFace*64）と，端末とのNAS（Non Access Stratum）-IF*65を活用することで，コアネットワーク設備への影響を軽減し，比較的早期にNRを導入できることが，最大の特徴となる．

⑵5G NRサービス識別（制御）機能

上記のDual Connectivity機能に加え，ローミングなどのさまざまな契約，運用形態などを考慮し，一層柔軟かつ適切にNRを提供するための機能が以下のように規定されている．

- 5Gエリア通知機能：端末からのアタッチ*66手順などを受信した際，コアネットワークは当該端末の5G契約に関する情報を端末に通知する．端末は，本情報，および基地局から通知される通信セルごとに設定される5G NR接続可否を識別する情報などから，アイコン表示などでユーザへのNRエリア通知を行う．
- 5G NR接続判定機能：上記と同じく5G契約に関する情報を端末，および基地局に通知する．これにより，例えばローミング時の5G使用可否を条件にNRに接続させる，あるいは試験用の特定端末に限ってNRに接続させるといったネットワーク運用を可能としている．
- 5G-GW（GateWay）*67選択機能：5Gの特徴であるスループット，容量観点で最適化されたGW装置を提供する場合，NRに端末可能な端末をこのGW装置に優先的に接続させる．
- 5G-Data Reporting機能：Dual Connectivityの場合，ユーザデータの送受信は基地局において無線環境などに応じてE-UTRA（Evolved Universal Terrestrial Radio Access）*68，NRに振り分けられる．コアネットワークでは実際に“NRで送受信されたユーザデータ量”を把握するため，基地局から“NRで送受信されたユーザデータ量”をカウントして，報告させる．

4.2 新規5Gコアネットワークの特徴

5GCはRelease 15で新規に規定された5G向けコアネットワーク装置である．その主な特徴については文献［1］を参照されたい．

なお5GCの特徴の1つは，E-UTRAをNRとともにNG-RAN（Next Generation - Radio Access Network）*69として収容可能としていることである．5GCに接続可能なeNBはng-eNBと呼ばれ，このng-eNBは5GCにNRを接続する際と同様のNG-APインタフェースで接続される．また端末が5GC在圏中にIMS（IP Multimedia Subsystem）*70・音声サービスを起動する場合，端末をEPCに接続させ，EPCでIMS・音声サービスを提供するフォールバック技術も提供されている．これらにより5GCにおいてもE-UTRANで構築された無線設備およびその設定，カバレッジを活用し，既存サービスの品質やエリアを維持しながら新たな5Gサービスを提供する運用や，円滑なマイグレーションを実現している．

5. あとがき

本稿では，NR，5GC，およびLTE/LTE-AdvancedのRelease 15仕様の背景，および主要機能を概説した．本稿で紹介したNR，および関連するネットワーク管理仕様については，本特集別記事でより詳細に解説をしているので，ご参照頂きたい［2］～［5］．3GPPでは，2018年10月から，Release 16仕様の作成を本格的に開始している．特にNRに対しては，

*63 eNB：LTEにおける無線基地局．
*64 S1-IF：eNBとEPCとの間の機能レイヤ．
*65 NAS-IF：無線アクセス層（AS：Access Stratum）を経由し，移動端末とコアネットワーク間での通信を行う機能レイヤ．
*66 アタッチ：移動端末の電源投入時などにおいて，移動端末をネットワークに登録する処理．
*67 GW：プロトコル変換やデータの中継機能などを有するノード機能．
*68 E-UTRA：3GPP移動通信網における高機能無線アクセス方式におけるエアインタフェース．
*69 NG-RAN：5Gコアネットワークに接続されるRAN．無線アクセス技術としてNR，E-UTRAを用いる．
*70 IMS：3GPP移動通信網におけるIPマルチメディアサービス（VoIP，メッセージング，プレゼンスなど）を提供するサブシステム．

ミリ波向けのマルチビーム・MIMOの高機能化やURLLC，IoTの適用領域の拡大を図る仕様を策定する予定である．またコアNWにおいても，5GC商用導入に向け，各種基盤機能の改善，URLLC，V2X，IoTなど，新しいサービスの5GCへの適用，およびその高度化を検討予定である．

文　献

［1］ 巳之口，ほか：“3GPPにおける5G標準化動向，”本誌，Vol.25，No.3，pp.6-12，Oct. 2017.

［2］ 武田，ほか：“5GにおけるNR物理レイヤ仕様，”本誌，Vol.26，No.3，pp.47-58，Nov. 2018.

［3］ 内野，ほか：“5Gにおける上位レイヤ仕様，”本誌，Vol.26，No.3，pp.59-73，Nov. 2018.

［4］ 佐野，ほか：“5Gにおける無線性能／無線リソース制御仕様，”本誌，Vol.26，No.3，pp.74-88，Nov. 2018.

［5］ 坪内，ほか：“5G時代のネットワークマネージメント仕様，”本誌，Vol.26，No.3，pp.89-94，Nov. 2018.

本記事は，NTT DOCOMOおよびグループ会社の研究開発成果などを紹介する技術広報誌「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」より転載いたしました．
記事に関するお問い合わせは下記にお願いします．

◆問い合わせ先

NTTドコモ
R&D戦略部
TEL　03-5156-1749
E-mail　dtj@nttdocomo.com
URL　https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/technical_journal/

NTTテレコン株式会社

http://www.ntt-tc.co.jp/

NTT TC

ライフラインの集中監視・自動検針を提供 今後はIoTトータルソリューションにより 世の中のデジタル変革を推進

NTTテレコンは，集中監視や自動検針を行うテレメータリングシステムを全国のライフライン事業者に提供してきた，正にIoTの先駆け企業．本格的なAI/IoT時代を迎え，既存コア事業の大変革を進めるとともに，新たな事業領域の開拓・拡大を積極化している．2018年7月に就任した深澤充社長に事業内容や経営戦略などについてお話を伺った．

NTTテレコン　深澤充社長

「ライフラインに安心をのせて」を旗印に，LPガス等業界のさらなるデジタル変革に挑戦！

◆事業内容を教えてください．

私たちNTTテレコンは，ガス・電気・水道等ライフラインの集中監視や自動検針を行うテレメータリングシステムを全国のライフライン事業者様（約800社/400万世帯）に提供している業界トップシェア（約５割）の会社です．1988年の創業以来，通信キャリアが提供するネットワーク技術の進化・進展に合わせて「NCU（Network Control Unit）」や「集中監視センタシステム」を開発・提供し，保安の高度化や検針業務の効率化・省力化等に貢献してきました．具体的には，各世帯のガスメータから得られるガス利用状況やガス漏れ検知などの各種情報を，固定電話や携帯電話の通信回線を使ってセンタシステムに集約し，ガス漏れ早期発見・遠隔遮断等のための集中監視サービス，自動検針サービスの提供，および「保安センタ」によるガス漏れ等緊急警報発生時の利用者・事業者様への緊急通報等サービスを提供しています．加えて，複数の事業者様で無線親機を共同でご利用いただくシェアリングサービスやクラウドを活用した販売管理・配送管理・請求書発行等の業務支援サービス，高齢者見守りなどの付加価値サービスも提供しています．現在LPガス利用世帯数は全国で2400万世帯ですが，約600万世帯（25%）に集中監視システムが普及しており，当社サービスシェアは57%（340万世帯）という状況です．集中監視システム導入による「認定LPガス販売事業者」の認定基準緩和やインセンティブ拡大（経済産業省），そして今後の安価なLPWA（Low Power Wide Area）回線の導入とも相まって，システム普及はさらに拡大していくものと考えています．

◆経営戦略についてお聞きします．

IoT（Internet of Things）向けに普及するLPWAネットワークの本格導入に伴い，正に2019年からLPガスを中心としたライフライン業界はデジタル変革のまっ只中に突入します．リーディングカンパニーとして，新たな商品・サービスを速やかに投入していくことはもとより，30年以上にわたって培ってきた事業基盤を土台にしながら営業・マーケティングのあり方を抜本的に見直し，このデジタル変革に積極果敢に挑戦していきたいと思います．とりわけ，AI（人工知能）を含めた上位レイヤのアプリケーションはどんどん新しいものが出てきますので，特定メーカ・ベンダに縛られないニュートラルなポジションにより他社とのオープンイノベーションを積極的に推進し，お客さまに最適な商材を目利き・組み合わせて提供する「トータルソリューション」の力を強化していきたいと考えています．具体的には2018年8月に「新経営ビジョン」を策定しました．私どもが培ってきたノウハウをベースに５つの強みを棚卸し，これらにさらに磨きをかけつつ，相互に連携させることで総合力を発揮して，お客さま経営課題の解決に資する「トータルソリューション」を本格的に展開していきたいと考えています．

＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊

NTTテレコンの「新経営ビジョン」

特定メーカ・ベンダに縛られないニュートラルなポジションとフルラインアップにより，お客さまに最適な「IoTトータルソリューション」を提供し，世の中のデジタル変革を推進．

①「端末メーカ・フリー」

特定メーカに依存せず，すべての端末メーカとのインタフェース連携を推進し，警報・検針・付加機能等のあらゆる情報を収集できるNCU・センタシステムを開発・提供．

②「アクセス・フリー」

LPWAおよびMVNO（Mobile Virtual Network Operator）の登録電気通信事業者として，NTTグループの有線・FOMA・LTEといった通信回線はもとより，お客さま要望や状況に応じて各種LPWA網を柔軟に選択・活用して，全県等域において最適なアクセスネットワークを提供．

③「NTT通信ビル収容・社内技術者による安定的センタシステム運用」

サーバなどの重要設備やオペレーション業務の拠点をNTT通信ビルに収容し，通信キャリアグレードの高信頼性を確保するとともに，設計・開発から保守まで一貫したスキルを有する当社の技術者による安定的なセンタシステム構築・運用を提供．また，当社共同センタ「テレコンクラウド」の提供のみならず，お客さまセンタシステムのSI・設備預かり保守も実施．

④「高品質な業務オペレーション」

「テレコンセンタ」および全国15拠点に展開する支店・営業所が，地場の工事会社と密接に連携し，全国レベルでの端末装置のデリバリ・保守を実現するとともに，「保安センタ」で24時間365日対応の集中監視を実施．30年以上にわたる豊富な実績で培った現場ノウハウにより，高品質で的確な業務オペレーションを提供．

⑤「NTTグループおよび他社とのオープンイノベーション推進」

NTTグループ内外との協業・アライアンスを積極的に推進し，お客さまの経営課題解決に資するAIを含めた上位レイヤのアプリケーションなどの目利きとラインアップを強化．

＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊　＊

協業・アライアンスにより新たな事業領域を開拓・拡大 IoTソリューションの「下支え役」として貢献！

◆新たな事業展開について教えてください．

ライフライン以外の事業分野については，NTTグループ企業をはじめとした各社のIoTソリューションの「下支え役」として貢献していければと考えています．全国に15の支店・営業所を構え，全県等域でLPWAおよびMVNOを提供することが可能な登録電気事業者資格をベースに，地場の工事会社と密接に連携しながら全国レベルでセンサ・端末機器のデリバリ・保守を統制・実施するとともに，NTT通信ビルに設置しているセンタシステムに集約した情報を基に「保安センタ」で24時間365日（6輪番体制）の集中監視をするという事業基盤（IoTプラットフォーム）は，発足30年以上の長期運用実績に基づく現場ノウハウが蓄積されており，さまざまな事業分野への応用が期待できると考えています．今や1つの企業で新たなイノベーションや付加価値の高いソリューションを生み出す時代は終わりました．今後は，NTTグループ企業や他社との積極的な協業・アライアンスを推進し，私どもの強みやノウハウを柔軟にご活用いただくことで，世の中のデジタルトランスフォーメーションを推進する一翼を担っていきたいと考えています．

しかしながら，忘れてはならないのはNTTグループのDNAである「つなぐ」という魂です．あらゆる物がインターネットにつながる時代，安心・安全なIoTプラットフォームを運用・提供していくことは，私たちNTTテレコンの最大の使命だと考えます．「ライフラインに安心をのせて」を旗印に，世の中の安心・安全を司る企業として，全社員で気持ちを1つにして誠実に仕事をしていきたいと思います．

社員・組織の自己変革を推進 「楽しく・楽しみながら」

◆最後に，社風と社員へのメッセージをお聞かせください．

当社は泥臭い仕事を社員が愚直に遂行しており，「現業の実態がある会社」だと感じています．それ故，みんな仕事にプライドを持っており，役職や上下関係にあまりこだわらずにピュアな議論ができる風通しの良い雰囲気がとても良いところです．

これから遠隔監視等の当社コア事業は大競争時代に突入します．これまで培ってきたノウハウや強みを棚卸して自身のポジショニングを明確化するとともに，それにさらに磨きをかけながら，柔軟な発想で社内外の人たちとオープンにあらゆるかたちでつながっていくことがとても大切です．でも，大変な時代だからこそ，仕事は「楽しく・楽しみながら」やるというのが私のモットーです．そして，社員1人ひとりが変化を恐れず自己変革を推進し，みんなの持ち味や強みを結集した「最高のチームプレー」で，NTTテレコンの新しい未来を切り拓いていきたいと思います．

LPWAを活用した新たなビジネスモデルの開発を

取締役　新規ビジネス開発部長　博士（工学）
原田　充さん

◆LPWAについての取り組みを教えてください．

原田充さん

一般にテレメータリング端末やセンサからセンタへの送信データは，少量かつ低頻度（ナローバンド通信）です．一方で，通常の携帯端末はブロードバンド対応で常に電波を出しているため，電池を電源としている端末の場合は電池交換のために設置場所に赴く頻度が高くなり，これがコスト増を招きます．そこで，通信速度を落とし，データ送信時のみに電波を発する等，低消費電力化が期待できるLPWAが，IoT向けの通信手段として注目されています．

当社の主幹事業であるガスの集中監視事業においても，ガスメータに接続される端末とセンタをつなぐ通信技術の1つとして，LPWAを活用し，コストの抑制を図っています．

◆どのようなところに注力していかれますか．

新規ビジネス開発という側面からいいますと，大きく2つあります．1つは，当社のLPWAシステムの汎用化を行い，ガス以外の分野における監視業務などの用途を開発することです．もう1つはLPガス事業者様向けに，今まで提供できていなかった新たなサービスを開拓したいと考えています．

前者は，例えば，ガスの監視ネットワークに相乗りするようなかたちでガス以外の情報を載せる仕組みを開発中です．後者は，LPガス事業者様向けのサービスで，ガスボンベを効率的に交換・配送するためのサービス等を開発しています．集中監視システムにより，ネットワークを介してガスの残量は常時把握できますから，その情報を基に，ガスボンベの交換時期の最適化や，さらに交換が必要なボンベについて最適な巡回ルートの予測を行い，販売店に情報提供するサービスです．以前は1軒1軒家を巡回して得られる月1回の検針値のみにより，ガスの残量がなくなる時期を予想して交換しなければなりませんでしたが，これにより販売店様の業務が効率化されます．

◆今後の展望についてお聞かせください．

当社のシステムをご利用いただいているお客さまのLPガスメータは，すでにネットワークとつながっています．NTTテレコン以外の事業者様からこうしたネットワークを使いたいというご要望があれば，上記の相乗りする仕組みを利用することによって，端末1台からでもつなげられるという利便性が提供可能になります．さらに，ガスボンベの交換やメンテナンスのための要員が思うように集まらないといった状況を抱えるLPガス事業者様に，当社の集中監視サービスとセットでガスボンベの交換支援情報を提供することで，LPガス事業者様の課題解決に資することができます．こうして，当社のサービスが全国に展開されてくれば，その先の話として，例えば自治体の防災関連の監視等の業務やその他の住民サービスに当社のLPWAネットワークを活用いただくことも可能になります．つまり，住民サービスや住民の安全を支える新たなインフラの登場でもあります．

30年以上にわたる豊富な実績で培った業務オペレーション

カスタマサービス部長
中村　公俊さん

◆カスタマサービス部の業務概要を教えてください．

中村公俊さん

カスタマサービス部には，全国を対象とした3つのオペレーション機能があります．具体的には，「全国デリバリ・保守コントロールオペレーション」「センタシステム運用・保守オペレーション」，それに「集中監視オペレーション（24h.365d）」で，スタッフは44名，私はそれらすべての部門を統括しています．

◆それぞれの業務についてお聞かせください．

1番目の「全国デリバリ・保守コントロールオペレーション」では，集中監視システムの約120万件に及ぶお客さまデータの登録と修正業務，それに集中監視用端末機器の工事試験や故障切り分け試験のオペレーション，そして，各種検針情報に関するLPガス事業者様や販売店様からの問合せに対応しています．

2番目の「センタシステム運用・保守オペレーション」では，震度7クラスの地震に耐え，非常用電源が確保されたNTT通信ビルの，免震機構付のラックに収容された，当社およびお客さまからお預かりした集中監視システムのサーバの維持管理および故障時におけるログ解析などを行っています．

3番目の「集中監視オペレーション」では，「テレコンセーフティサポート24」という，当社の保安センタがガス事業者様に代わり，ガスメータから送信される緊急情報を24時間365日監視し，ガス利用者様への電話による情報収集と対処方法案内などの業務や，ガス事業者様やガス利用者様からの電話受付業務を行っています．さらに，LPガス以外の分野における水位監視，温度監視等のオペレーションも行っています．

◆どのようなご苦労がありますか．

オペレーション業務は顔の見えない電話応対業務です．時には，ガスの販売店様や工事会社の現場作業員の方からお叱りを受けることがあるため，オペレーション業務を担

うスタッフには，それらがストレスの要因になることもあります．そこで，ストレス軽減のために，会話によるコミュニケーションの行き違いがないかということに，私たちは細心の注意を払っています．コミュニケーションのノウハウをきちんと伝え，OJTによる教育や電話応対の研修などを実施，さらに，ガス工事の流れを体験・学習できるようなコーナーも社内に設置し，研鑽に努めています．

◆今後の展望についてお聞かせください．

AIなどの先端技術を活用した集中監視の効率化やガスの利用状況の見える化などを進め，より安心，使い勝手の良いソリューションを提供するためにも，30年以上にわたる豊富な経験で培った業務オペレーション実績に基づく，高品質で安定的なオペレーションに努めたいと考えています．また，今後は，さまざまな分野における人手不足という状況にかんがみ，当社であらゆるジャンルに対応できる受託業務オペレーションとすべく，さらなる業務運営体制の拡充を図り，その一環としてフロアのレイアウトを変更しました．これにより，ショールームを兼ねたオペレーションルームを開設し，作業環境の改善を図り，専用室で高品質なオペレーション業務が行えるようになります（**写真1**）．

写真1　新たなオペレーションルーム

NTTテレコン ア・ラ・カルト

■拠点間の距離を共通の趣味で補うスポーツクラブ

NTTテレコンは2016年6月に「テレコンランニングクラブ」を創設し，現在，全国にいる約20名のメンバが活動しています（**写真2**）．メンバが全国に分散しているため，合同練習は難しいものの，各自の練習風景や結果を社内の電子掲示板にアップして，コメントのやり取りをするなどの交流を図っています．ちなみに，2018年度には，NTTグループ駅伝を含む19のマラソン大会に，社員が参加しています．多くはフルマラソンやハーフマラソンで，「別府大分マラソン」や「名古屋ウィメンズマラソン」といった国際的な大会にも参加しています．中には各地のマラソン大会を渡り歩き（走り？）支店の垣根を越えた活動をしている社員もいるそうです．

写真2　ランニングクラブメンバ

■SNSで情報発信！

NTTテレコンは2017年4月からFacebookによる情報発信をしています．本社・支店から集まった6名でFacebookチームを結成し，サイトの管理運営を行っています（**写真3**）．「試行錯誤しながら，会社の紹介を目的に，月に1～2回発信しています．まずは多くの人に，NTTテレコンのことを知ってもらい，当社はライフラインの安心・安全を提供しているのだということを伝えたいという想いがあります」と営業本部営業支援担当課長の長谷部朗子さんは言います．投稿記事の中にはサービス紹介だけでなく懇親会の画像もアップされており，楽しそうな会社の雰囲気も伝わってきます．

写真3　Facebookチームメンバ

■営業の変革をもたらす「深澤塾」の全国行脚が始まった

深澤社長がNTTテレコンに着任した2018年7月から本社で開かれたのをスタートに，すべての拠点で社長自らが講師となり「深澤塾」を開催しています（**写真4**）．授業は1回2時間程度で，最初のテーマは「営業・マーケティングの変革」，対象は全社員だそうです．社長はもともと法人営業のエキスパートで，課題解決型の営業ノウハウを社員に伝授すること，そしてみんなとダイレクトに接し，直接コミュニケーションできる場を設けることが狙いだといいます．「価格や納期が勝負の物売りから脱却し，当社が提供する商材・サービスで解決できるお客さまの経営課題やその投資対効果の仮説を立てて，それを確認にいく営業スタイルに変革することが目的（深澤社長）」．すなわちこの「仮説検証型営業」が真のトータルソリューションであるということ．この営業プロセスのPDCAを全社で回していく仕掛けをつくり，中身を日々進化させていくことが重要であるとのことです．今後も，テーマを変えて第2弾・第3弾の深澤塾が予定されているそうです．

写真4　深澤塾の様子

通信インフラのメンテナンスサイクルを革新するデジタルトランスフォーメーション

NTTグループは鉄塔，局舎，橋梁，管路，電柱，吊り線，とう道といった膨大な通信インフラを保有しています．高品質な通信サービスを提供し続けるためには，これらの通信インフラに対する日々のメンテナンス（維持管理）が欠かせません．高品質な通信サービスの維持・向上のために，メンテナンスサイクルを高度化し，通信インフラを安心・安全かつ経済的に守っていくことが重要な課題となっています．NTTコムウェアは，AI（人工知能）・ドローン・MR（Mixed Reality）といった最新技術を駆使し，通信インフラをはじめとした社会インフラのメンテナンスサイクルのデジタルトランスフォーメーションに貢献する技術開発・ソリューション開発を進めています．ここではその事例について紹介します．

通信インフラ維持管理の課題

NTTグループの通信インフラは，通信インフラ設備の種類ごとに管理基準が定義され，定期的に目視点検・診断を行うようになっています．設備の劣化状況は，設置場所の環境や設備の補修状況により進行に違いが生じますが，一律に行う定期点検・診断ではその違いに対応できません．劣化状況に応じた詳細点検・診断，および補修に稼働を割り当てることができれば，通信インフラ維持管理業務の最適化につながると考えます．

インフラ設備の劣化状況の診断は，熟練技術者の長年の経験やノウハウに頼る部分も多いのが現状です．暗黙知の点検・診断スキルをどのように伝承していくのかは課題の1つです．また，通信インフラ設備の点検は，高所・閉所作業を伴うものも多く，危険作業は安全面からも極力削減する必要があります．

さらに，近年頻発している大規模災害の障害に対する復旧業務は，ライフラインとなる通信サービスの提供において非常に重要な業務です．災害時は即応・復旧が求められますが，現況の把握やリソースの適正配置が課題です．

めざすは通信インフラのデジタルツイン

通信インフラ維持管理業務の最適化，熟練技術者の技術伝承，大規模災害時の現況把握といった課題に対するソリューションとして注目しているのが通信インフラのデジタルツイン（デジタルの双子）です．デジタルツインとは，現実空間をデジタル上の仮想空間で再現・モデル化し，効率的な管理を実現するコンセプトです．サイバーフィジカルシステム（CPS）とも呼ばれています．通信インフラの設備台帳や，点検・補修結果，経年劣化状況をデジタルデータとして収集，一元的に管理します．蓄積データから，劣化予測，メンテナンスサイクルの最適化，熟練技術者の点検スキルの集約，災害時の即応などが可能となります．

NTTコムウェアが実現をめざしている通信インフラのデジタルツインの特長は次のようなものです．

① 従来，紙媒体や電子ファイル，個別システムで管理されていた情報を，設計データ・管理台帳や点検結果までの各データとしてスムーズに連携・効率化することで，メンテナンスサイクル（点検，判定，補修・更改，設備管理）を一元管理します．

② 通信インフラ設備にかかわる現況情報を仮想空間でモデル化して再現させることで，仮想空間上で対象設備の簡易点検･診断を実施することができます．高所作業や危険作業を伴う現場での点検作業の一部を仮想空間内の簡易点検作業に置き換え，点検・診断した結果を現実と仮想に同期させることで，現場から結果を確認することが可能となり，より安全かつ効率的な業務に変革します．

③ 仮想空間に集約・蓄積された熟練者による点検・保守結果を，AI（人工知能）に繰り返し学習させることで，点検・診断作業をスキルレス・自動化します．さらに劣化予測による予防保全で業務全体を最適化します．

④ 一元管理された情報とネットワーク管理情報や外部の災害情報などを統合することで，大規模災害時の迅速なサービス復旧などに活用可能です．

NTTコムウェアは通信インフラのデジタルツインを構築し，デジタルトランスフォーメーションを推進することで維持管理業務を革新していくことをめざしています．

通信インフラのデジタルツインに向けた事例の紹介

NTTコムウェアが実現をめざす通信インフラのデジタル

ツインに向けて，各種技術を利用した通信インフラの点検・診断業務での実証事例を積み重ねています．その一部を紹介します．

■ドローンを活用した通信インフラの現況情報取得に役立つ「ドロポ®」

通信インフラのデジタルツインの実現には，まず通信インフラの現況情報を正確に取得する必要があります．情報取得を効率的に行う技術として注目されているのがIoT（Internet of Things）技術とロボット技術です．中でも空飛ぶロボットであるドローン（UAV：無人航空機）による空撮で，通信インフラの外観を取得，3Dモデル化するとともに大量の撮影写真・動画・赤外線カメラ映像などで現況情報を取得する取り組みが始まっています．

NTTコムウェアは，NTTグループ全体でのドローン活用の取り組みに参画し，ドローン運用業務の支援や運用ノウハウの共有に役立つ「ドロポ®」を開発しています（**図1**）．

ドロポ®によって，ドローンやパイロット，プロジェクトやフライトの計画など，業務にドローンを導入・活用する際に必要な情報を管理できるようになっています．ドローンで取得した飛行ログや撮影画像などの各種データの管理も行うことができます．ドローンを活用して，通信インフラの現況情報を効率的に取得し，管理するためのシステムとして活用をめざしています．

■仮想空間での点検業務を実現する「KnowledgeMap® 4D」

ドローンの撮影写真を基にしてデジタル空間上での簡易目視点検・診断ができるよう開発したのが「KnowledgeMap® 4D（4D仮想点検ビューア）」です（**図2**）．すべての点検・診断を代替できるわけではありませんが，点検・診断内容によっては業務量の削減に寄与できると考えています．

SfM（Structure from Motion）技術により，撮影した写真から3Dモデルを生成し，点検対象の劣化状況を写真と3Dモデルで管理することが可能となっています．ドローンで撮影した写真は大容量となるため，その写真をデジタル空間上に分かりやすく再現・可視化する仕組みが求められます．KnowledgeMap® 4Dでは，写真からSfM技術で生成した3Dモデルとともに大容量の写真を管理・可視化することができます．3Dモデル上で任意の個所をクリックすると，適切な写真を過去の写真も含めて自動抽出できます．同じ通信インフラの過去に撮影した写真を時系列で管理しているため，経年劣化状況の把握も可能です．また，選択した写真上に，不具合点検・登録・報告業務ができるアノテーションツールを具備しています．

これらにより点検したい場所を選択して直感的に確認することや，逆に，写真上で登録した不具合が3Dモデルのどのあたりに該当するかを3Dモデル上に表示することが可能となるため，全体を俯瞰した結果の確認や，不具合の偏り

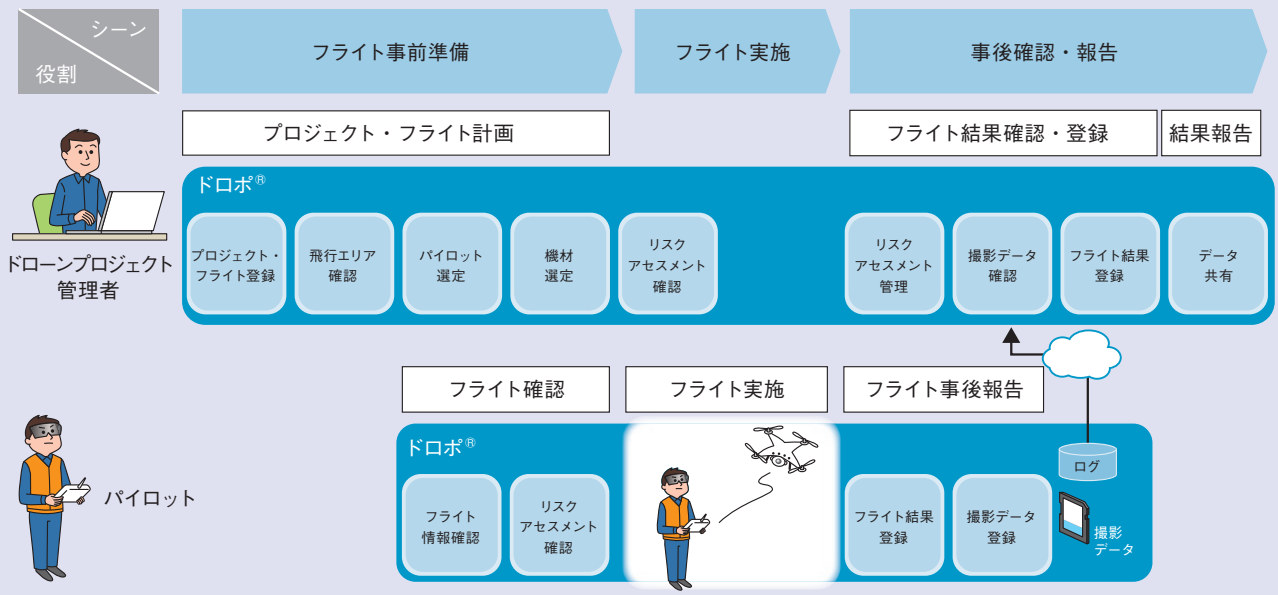


図1　ドロポ®の概要

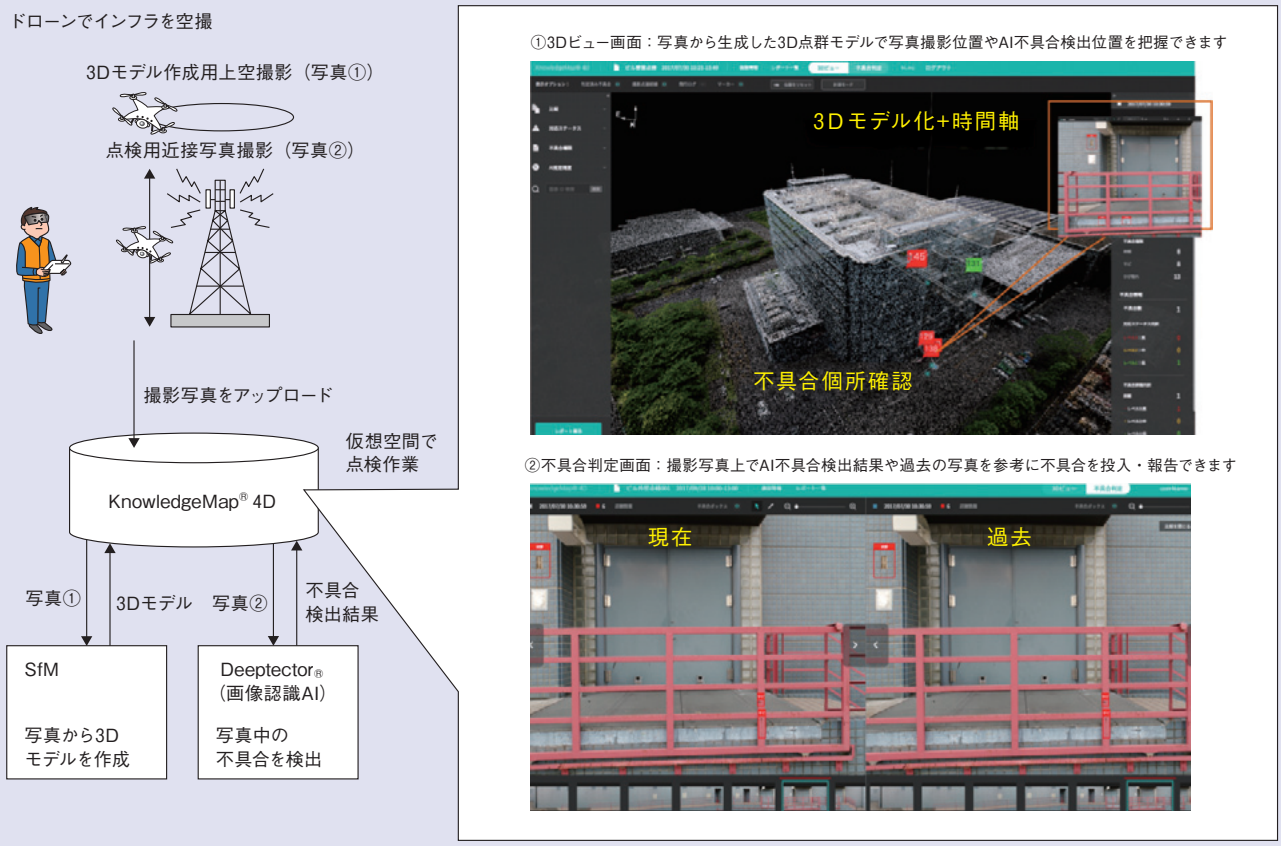


図 2　KnowledgeMap® 4Dの概要

の確認などが可能となります（特許出願済技術）．

NTTコムウェアはNTTグループ各社と共同で，本技術を用いた通信インフラ設備の点検トライアルを開始しています．

■AI自動分析，劣化予測をめざして鍛えているAIエンジン「Deeptector®」

KnowledgeMap® 4Dで熟練技術者が点検作業を繰り返すことで，点検・診断結果をデータとして蓄積することが可能です．サビや剥がれなどの不具合の種類と劣化度合いを写真上に登録し，教師データとしてAIを強化させることができます．また，AIで判定した不具合情報を写真上に表示し，点検業務を省力化する機能も付いています．

さらに，経年での劣化情報を蓄積し，構造解析の仕組みと組み合わせることで劣化の予測シミュレーションも行えるようになると考えています．

こういった取り組みはNTTコムウェアのAIエンジンである「Deeptector®」を利用して行っています．AIを使って自動解析することで，見逃しの防止やレベル判定の均一化が図れます．十分精度が高まれば，通信インフラだけではなく，例えば鉄道やダムなどの他の設備にも展開することができると考えています．

■MRを使った実世界へのフィードバックを行うことができる「KnowledgeMap® xR」

デジタルツインに集約した情報を現実の設備にフィードバックするために注目しているのがMR（Mixed Reality）技術です．MRとは現実空間に仮想空間を重ね合わせて表示し，仮想空間上の物体・情報がまさにそこにあるかのように認知・操作できる技術です．現実の通信インフラにデジタルデータの情報を重ね合わせて表示することができるため，現場での作業の効率化が期待できます．

NTTコムウェアはMR技術を活用したアプリケーション「KnowledgeMap® xR」の開発を進めています．ここでは２つのアプリケーションについて紹介します（**図 3**）．

(1)　ドローン飛行支援アプリケーション

MRのHMD（Head Mount Display）を装着し，現実のドローンを見て操縦することで，リアルタイムで高度や距離，

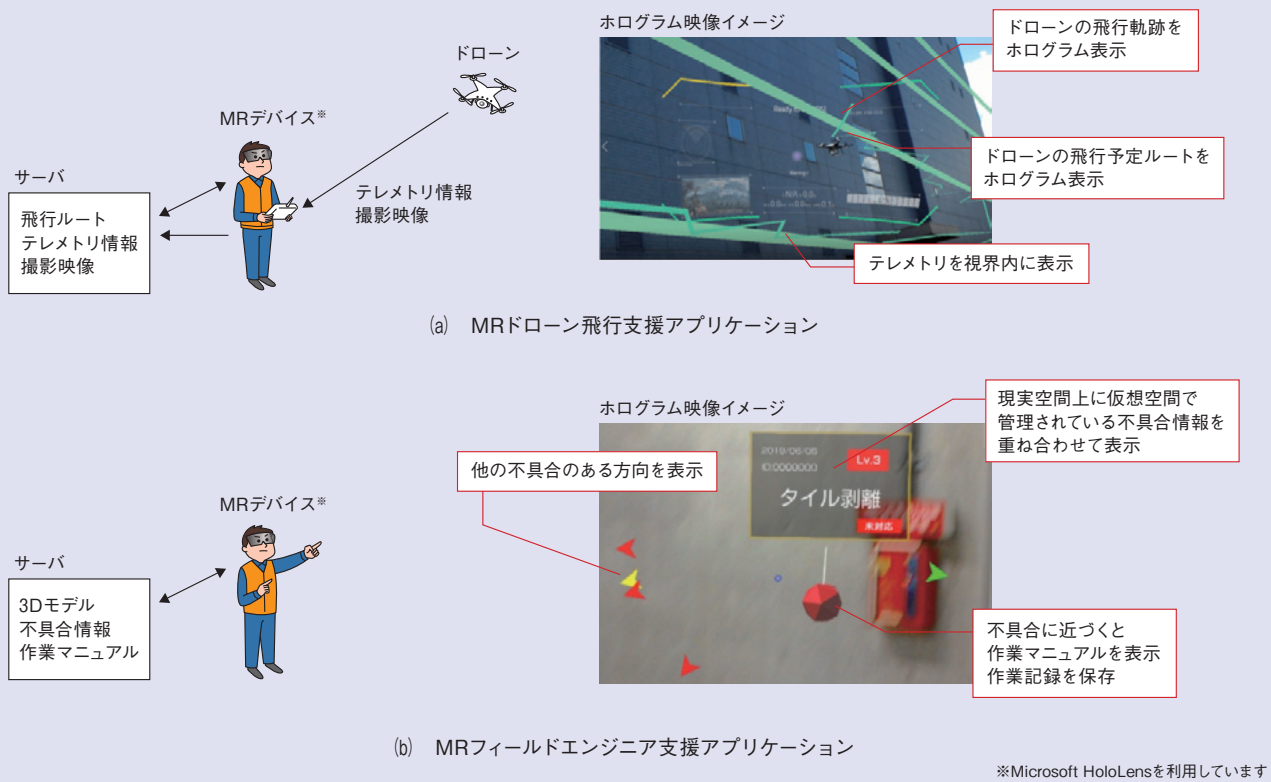


図 3　KnowledgeMap® xRの概要

方角などのテレメトリデータや飛行ルート，撮影画像などを現実空間上に浮かび上がって見せることができます．操縦者は手元の端末で確認することなく，HMD上でドローンの状態を確認することができます．

(2)　MRフィールドエンジニア支援アプリケーション

KnowledgeMap® 4Dで管理する不具合個所の情報を現実の通信インフラ上に重ねて表示します．現実世界に不具合個所や関連情報を重ね見せることで，点検漏れの抑止につなげることができます．さらに，不具合個所に近づくと作業手順などが自動表示され，確実で安全な補修作業を支援します．

MR技術の屋外利用については，雨や暑さなどの天候条件や，直射日光下での視認性，現実空間と仮想空間の位置合わせなどに課題はありますが，将来はこういったデジタルデータを現実空間に重ね合わせるようなMR技術の業務活用が当たり前になると考えています．

今後の展開

NTTコムウェアはNTTグループ各社と共同で通信インフラのデジタルツインの実現をめざし，技術開発・実証実験に取り組んでいます．この技術をいち早く実用化することで通信インフラのメンテナンスサイクルの高度化を推進します．

この技術・ソリューションにより，さまざまな社会インフラ維持管理の課題解決に貢献したいと考えています．

◆問い合わせ先

NTTコムウェア
ビジネスインキュベーション本部　ビジネスインキュベーション部
TEL　03-5796-3160
FAX　03-5796-0103
E-mail　bi-bid-m2m@srv.cc.nttcom.co.jp

「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」開催報告

池邉　隆[†1]/加藤　英男[†1]/村元　厚之[†1]/久田　正樹[†2]/堀田　健太郎[†3]/坂井田　規夫[†4]
NTT研究企画部門[†1]/NTTサービスイノベーション総合研究所[†2]/NTT情報ネットワーク総合研究所[†3]/NTT先端技術総合研究所[†4]

NTTは2018年11月26～30日の5日間にわたり，NTT武蔵野研究開発センタにて，「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」を開催しました（26日，27日はプレスおよびNTTグループ社員向け内覧会）．ここでは本フォーラムの開催模様を紹介します．

フォーラム概要

NTTグループは“Your Value Partner”として，パートナーの皆様方とともに社会的課題の解決をめざしています．社会的課題の解決がデジタル化・スマート化された社会の実現へ貢献するものと考えています．「NTT R&Dフォーラム2018（秋）」では，その取り組みに資する最新の研究成果について講演・展示を行いました．本年度は，“Transforming Your Digital Visions into Reality”をコンセプトに最新の研究成果を展示しました．

講演・ワークショップ

11月28日の基調講演では，澤田純NTT代表取締役社長が，「Smart Worldの実現に向けて」と題して，グローバルな活動として，ローカルな社会（グローカル）の課題をデジタルトランスフォーメーション（DX）で解決する取り組み「スマートワールド」の実現に向けて，パートナーと連携し推進していくことを宣言し，各産業分野での現在の取り組みを紹介しました．ラスベガス市，デルテクノロジーズ社との最先端技術を活用した「スマートシティ」の取り組み，松竹株式会社との伝統芸能とICTを融合した「スマートエンタテインメント」，アクセンチュア株式会社をパートナーとして，コンビナートの生産性向上に取り組むJSR株式会社との「スマートマニュファクチュアリング」，自動運転を実現する基盤技術を開発するトヨタ自動車株式会社や船舶IoTプラットフォームを実現する日本郵船株式会社と株式会社MTIとの「スマートモビリティ」を紹介しました．さらに，NTTグループの中期経営戦略「Your Value Partner 2025」として，グローバルな競争力強化に向けたNTTグループのグローバルビジネス成長戦略について，顧客ビジネスの進化をサポートするとともに革新的創造に取り組むとし，研究開発の強化，グローバル化を行っていくことを表明しました．最後に，自らのDXを進め「Your Value Partner」となるべく邁進していくことを宣言し，講演を終えました（**写真1**）．

続いて，川添雄彦NTT取締役研究企画部門長により，「世界をSMARTに，技術をNATURALに」と題して，「人がより人間としての価値を高める，人と地球に心地よい世界」をビジョンに，ナチュラルに技術を発展させていくNTT R&Dの方針を示しました．その中の象徴的な取り組みの1つとして，人を取り囲む環境が自律的に連携し，人との自然なやり取りが可能になる世界の実現をめざした，新たなプロジェク

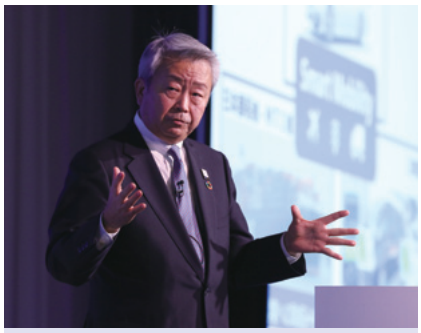


写真1　澤田純社長講演

ト「Point of Atmosphereプロジェクト」の発足を発表しました．続いて，R&Dによる世界一，世界初，世界に驚きを与える革新的な技術を生み出すために，パートナーとともに社会や産業のDXによる課題解決を通じて，スマートワールドを実現する「R&D for SMART WORLD」の取り組みを紹介しました．最後に，イノベーションを加速する取り組みとして，「研究成果のグローバル展開」「研究ターゲットのグローバル化」「海外に研究拠点を設立」の3つの施策を示し，海外の研究拠点として，量子計算科学の基礎研究に取り組むNTTΦLaboratories，暗号情報理論の基礎研究を行うNTT CIS Laboratories，生体情報処理の基礎研究を行うNTT MEI Laboratoriesの3つの研究所を新たに設立することを表明しました（**写真2**）．

2018年度は，11月29日に2つ，11月30日に1つの特別セッションを開催しました．まず，Dimension Data Australia社のChief Technology OfficerであるDebra Bordignon氏が「Co-Innovating to Accelerate Transformation and Create New Value」と題し，オーストラリアで，パートナーとともに新しい価値を創造するClient Innovation Centre（CIC）での取り組みを紹介しました．Deakin大学，FLAIM Systems，Dimension Dataと共同で，実際の火災現場に近い状況をつくり出し訓練を可能とする仮想現実（VR）を活用した消防士訓練シミュレータFLAIM Trainer®に，NTTが開発したhitoe®を導入，取得した生理学データを活用することで，消防士を危険にさらすことなく効果的な訓練が可能となりました（**写真3**）．

続けて，岡本龍明NTTフェローが「多様性とCOE － NTTの暗号研究：視覚障がい研究者ダッタ博士と語る」と題し，NTTセキュアプラットフォーム研究所が暗号分野において世界的に評価されている研究拠点，COE（Center of Excellence）であることを説明，その秘訣は多様性にあるとの考えを示しました．1988年に初めて外部の研究者を招聘して以降，ほぼ毎年国内外問わず多くの研究者を受け入れてきており，2015年以降だけでも，延べ55名20カ国以上の研究者が在籍してきた実績を挙げました（**写真4**）．代わって，Pratish Datta博士が登壇し，岡本フェローとの出会いからNTTの研究環境，生活の様子を紹介，世界中から集まった暗号研究の精鋭の研究者と最高の環境で研究できること，自然と助け合う環境であることを紹介しました．視聴覚障がい者でもあるPratish博士は，研究活動に対する十分なサポートが得られていることを述べるとともに，理論的かつ実用的で洗練された暗号の開発をめざし，これからもNTTで研究を続けていくことを表明しました（**写真5**）．

翌日には，everis社のChief Disruption OfficerであるMarc Alba氏が「Leading in the Age of Digital Disruption」と題し，現在の世界は，銀行，医療，自動車，小売を含めすべての業界が再発明される状況であるとし，既存技術の改善ではなく，本質的な課題を解決する「革新的創造」が必要とされているとの認識を示しました．そのうえで，NTTグループで進めている革新的創造の取り組みとして，これまで，サービス提供者に委ねていた個人情報の所有権を個人に取り戻し活用することで新しいビジネスを創出するコンセプトを提案しました（**写真6**）．以上の講演によりNTT R&DやNTTグループの取り組みを紹介し，聴講されたお客さまからは好評をいただきました．

写真4　岡本龍明フェロー講演

写真2　川添雄彦取締役講演

写真3　Debra Bordignon氏講演

写真5　Pratish Datta博士講演

研究成果展示

NTT R&Dフォーラム2018（秋）では，6つの展示テーマ「メディア＆UI（User Interface）」「AI（人工知能）」「IoT（Internet of Things）」「ネットワーク」「セキュリティ」「基礎研究」を掲げ，124件の最新の研究開発成果を展示しました．NTTグループで取り組んでいる技術やパートナー企業とのコラボレーション成果も多数展示し，基礎研究分野から商用化に至った技術まで幅広い展示となりました．

各研究開発の成果を効果的に見ていただくために，展示テーマを主体にした展示会場だけでなく，展示テーマを越えて「スマートワールド」の取り組みを紹介する展示会場を新たに設置しました．これらの会場を中心に，趣向を凝らしたデモンストレーションや展示を来場者の方にご覧いただきました．

■メディア＆UI

⑴　新たなUXを創るメディア技術

高臨場感通信技術「Kirari!®」では，新たな感動の創出をめざしたシアター型展示に加え，競技空間を丸ごと伝送し，競技空間を四方からリアルタイム中継での観戦できる「Kirari! for Arena」，窓口業務の高臨場感化，4K×4によるスポーツワイド合成・経済化など利用シーンに合わせたラインアップを要素技術と併せて紹介しました（**写真7**）．

⑵　202Xを彩るUI技術

身近な移動を安心・便利にサポートする「ダイバシティ・ナビゲーション」の実現に向けて，高齢者や障がい者などの歩行者移動支援に必要なバリアフリー情報を低コストに収集・更新する技術や歩行ガイド技術を紹介しました．また，ロボットによる自然なプレゼンを実現するための技術などを紹介しました．

■AI

⑴　人を支えるAI

ロボットが人の言葉を正確に聞き取り，自然な対話を実現した「インタビュー対話ロボットtotto」，音声ならではの非言語情報（話者属性・感情・意図）を認識するエンジン「RexSense®」，お客さまとオペレータの通話音声の音声認識を行い，応対内容からシーンの推定，主題や用件など定義した要点をリアルタイムに抽出する技術などを紹介しました（**写真8**）．

⑵　社会を支えるAI

不特定多数の人が出入りする大規模商業施設において，AIを用いた空調制御によって，快適さを保ちながら空調コストを削減する技術，イベント時や観光・交通などさまざまな分野の誘導計画に対して，学習型人流シミュレータによる誘導策を提示する技術など，人の動きに基づき最適な制御を行うAI技術などを紹介しました．

⑶　基盤技術

Deep Learningの高速化を実現する学習基盤技術や膨大な空間情報データを画像群に変換して圧縮する技術，AIを配信しネットワークの適切な場所で動作連携させる技術などを紹介しました．

■IoT

⑴　Sense，Connect & Drive

ヘルスケア分野をはじめ，さまざまな分野で活用領域を広げている機能素材「hitoe®」の技術や電波の届きにくい場所にあるセンサ端末からデータを確実に収集する技術など，モノから読み取ったコトをデジタル化し伝送する技術を紹介しました．

⑵　Data & Software Logistics

製造，自動車，船舶の分野において，多種多様な機器とアプリケーション間の高速なデータ交換を実現するIoTデータ交換技術や大量のデータを低遅延に処理するためのリアルタイムな分散処理を実現するエッジコンピューティング技術などを紹介しました．

⑶　Analytics & Prediction

監視区域近隣のマイクロデータセンタでの分析により，迅速なインシデントの検知と対応を実現する公共安全ソリューション，救急事案が発生しそうな地域・時間を予測し，救

写真6　Marc Alba氏講演

写真7　メディアとUI

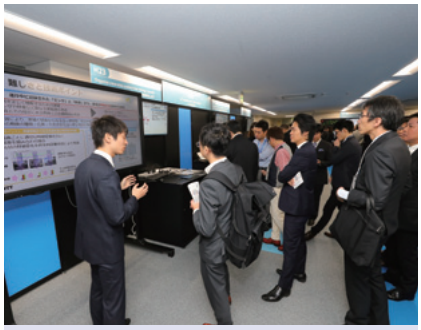


写真8　AI

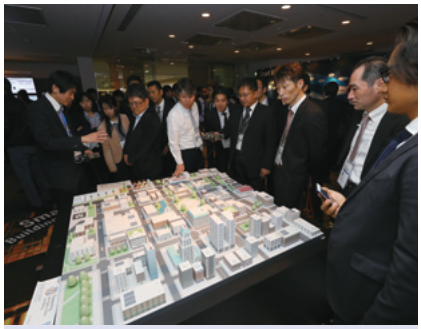


写真９　IoT

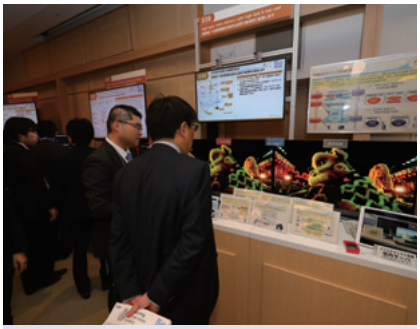


写真10　ネットワーク

写真11　セキュリティ

急隊を最適配置する救急隊運用最適化など，ビッグデータ解析と深層強化学習を組み合わせた最新の成果を紹介しました（**写真９**）．

■ネットワーク

⑴　柔軟で高速なネットワーク

5Gの次を担う無線伝送技術や多様なニーズに応じたネットワークを生成するネットワークスライスなど，大容量化を支える技術や多様なサービス要件に対してネットワーク機能を最適に提供する技術などを幅広く紹介しました（**写真10**）．

⑵　迅速にサービス提供・復旧するネットワーク

サービス申し込みや故障などのさまざまな運用イベントをSLA（Service Level Agreement）に基づいて判断することで，ゼロタッチオペレーションや計画保守の範囲を最大化する運用技術やICTシステムの自動的な障害対応をめざし，監視・分析・制御・復旧の各フェーズで，Network-AIによるオペレータ業務を支援する技術などを紹介しました．

⑶　ネットワーク・ITソリューション

ラスベガス市の公共安全ソリューションを支える「APIオーケストレータ」や他社とのコラボレーション展示など，ネットワーク機能を活用するソリューション例やサービス開発に今すぐ活用いただける技術を紹介しました．

■セキュリティ

未知のサイバー攻撃に対する検知技術や個人情報匿名化技術など，サイバー攻撃への対策強化とデータ利活用社会の早期実現に貢献する，守りと攻めの先端セキュリティ技術を紹介しました（**写真11**）．

■基礎研究

存在を意識させないデバイスをめざしている「透ける電池」，ことばの発達がゆっくりな子の特徴を明らかにする「幼児語彙発達分析技術」，難問を桁違いの性能で解く「LASOLV向けミドルウェア技術」，塗るだけで構造物の状態変化をセンシングする「塗装式劣化センシング技術」など，未来を見据え新原理・新概念の創出をめざした最先端の基礎研究を紹介しました（**写真12**）．

写真12　基礎研究

フォーラムを終えて

海外を含めより多くのお客さまにご来場いただけるように，開催時期を従来の春から秋へ変更し，１万5000名を超えるお客さまをお迎えすることができました．海外を含め多くのお客さまにご来場いただけた背景には，NTTのR&Dへの期待感の高まりがあるものと考えています．実際に現場やアンケートを通じても，R&Dに対する多数の期待の言葉をいただきました．皆様からいただきましたR&Dに対する強いご期待にこたえられるよう，今後も基礎研究ならびに新技術の開発や展開に一層努力してまいります．

（左から）村元　厚之/ 加藤　英男/
池邉　　隆/ 坂井田　規夫/
久田　正樹/ 堀田　健太郎

◆問い合わせ先
NTT R&Dフォーラム事務局
E-mail　rdforum-info-ml@hco.ntt.co.jp

通信装置のソフトエラー対策，ITU-T国際標準制定

岩下 秀徳（いわした ひでのり）
NTTネットワークサービスシステム研究所

2018年11月，ITU-T（International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector）にて，通信装置のソフトエラー対策に関する勧告が承認されました．本勧告は，地上に降り注ぐ宇宙線を主たる原因とする通信装置の誤動作（ソフトエラー）の対策について，設計方法・試験方法・評価方法および品質基準を定めた勧告で，ソフトエラーに関する一連の対策・評価基準を定義したものです．本標準勧告により，ソフトエラー対策の基準に基づいたさらなるネットワークの信頼性確保が期待できます．ここでは，通信装置のソフトエラー対策に関する勧告について紹介します．

通信装置のソフトエラー

近年，宇宙線によって生じる中性子線によるソフトエラーが地上で使用する通信装置でも増加しつつあります．ソフトエラーとは，永久的に半導体デバイスが故障してしまうハードエラーとは異なり，電気的ノイズによって発生する故障（メモリのビット反転）で，半導体デバイスの再起動やデータの上書きによって回復可能な故障のことです．保存されているデータが一時的に書き換わることで誤動作やシステムダウンを引き起こす可能性がある一方で，再起動・上書きで回復してしまい，事象の再現や原因特定が困難といわれています．発生すると利用者に多大な影響を及ぼす可能性がありますが，運用者にとっても原因究明・対策が大きな負担となる場合があります．通信装置では，このような故障も想定して通信サービスに影響を及ぼさないように設計しますが，ソフトエラーを再現させるためには，大学や研究機関が保有する大型加速器を用いる必要があり，商用装置を開発段階で十分に検証をすることができませんでした．

しかしながら，最近，一般企業が保有する数メートル程度の小型加速器中性子源[*1]を用いて通信装置のソフトエラーによる影響を測定することができるようになりました[(1)]．本試験を実施することにより，事前にソフトエラーの影響を把握でき，改善を行ったうえで製品を販売する，実運用ネットワークへ通信装置を導入することもできるようになってきました．開発・導入段階でのソフトエラー対策により，大幅な通信品質の向上を図ることも可能となりますが，その手法・評価について指標となる基準が求められていました．

ソフトエラー対策に関するITU-T勧告

このような背景から，ソフトエラー対策に関する設計から評価，品質基準を定めることを目的に，2015年8月に一般社団法人情報通信技術委員会に通信装置のソフトエラー対策に関する標準化Adhoc（SOET Adhoc：Soft Error Testing Adhoc）が開設[(2)]され，2015年10月のITU-T（International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector）SG（Study Group）5[*2]会合において，通信装置のソフトエラー対策に関する検討プログラムの開始が承認され，SOET Adhoc委員各社が中心となり勧告草案の作成を行い，このたび勧告化が実現しました．

この勧告では，ソフトエラー対策に関する設計方法・試験方法・評価方法および品質評価基準が定義されており，求められる信頼性のレベルに応じたソフトエラー対策を可能にする指標が示されています．

ITU-Tで承認されたソフトエラー対策勧告は，5つの勧告本編と補足資料で構成されています．ソフトエラー対策勧告の全体像を**図1**に，勧告一覧を**表1**に示します．勧告化までの経緯を**表2**に示します．

■K.124（概要編）通信装置の粒子放射線影響の概要

本勧告は，ソフトエラーが発生するメカニズム，通信装置で発生するソフトエラーの影響と対策の概要，ソフトエラーに対する標準の必要性について述べています．ソフトエラーが発生する主な要因には，半導体デバイスに微量に含まれる放射性同位元素から生成されるα線と，宇宙線によって生成される中性子線があります．α線による

＊1　加速器中性子源：加速器によって加速された陽子や電子をターゲットに照射して核反応によって中性子を発生させる施設．
＊2　ITU-T SG5：ITUは国連の一機関であり，その中でITU-Tは電気通信の標準化を行っています．SG5は環境と気候変動の課題を検討しています．

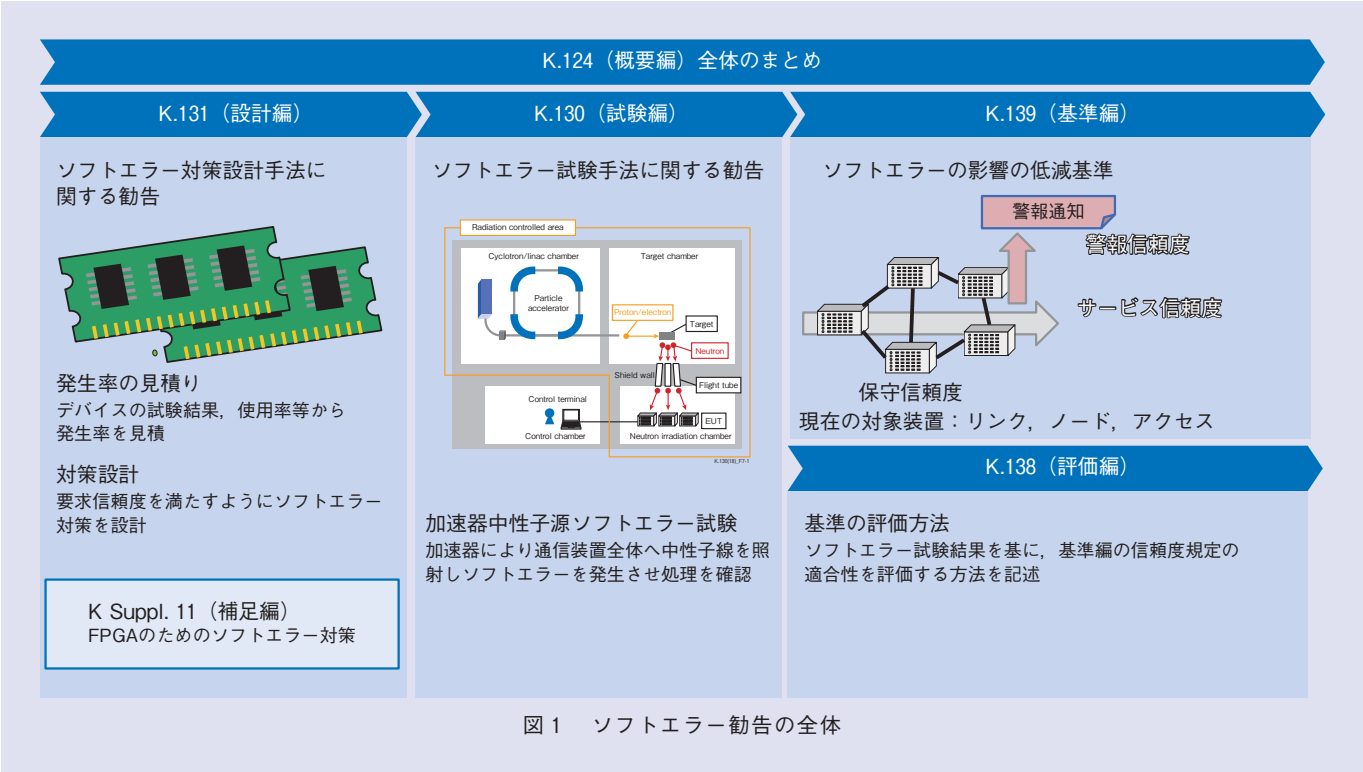


図 1　ソフトエラー勧告の全体

表 1　ソフトエラー勧告一覧

勧告番号	略称	タイトル
K.124	概要編	Overview of particle radiation effects on telecommunications systems[3] （通信装置の粒子放射線影響の概要）
K.130	試験編	Soft error test method for telecommunication equipment[4] （通信装置のソフトエラー試験手法）
K.131	設計編	Design methodologies for telecommunication systems applying soft error measures[5] （通信装置のソフトエラー対策設計手法）
K Suppl.11	補足編	Supplement to K.soft_des - Soft error measures for FPGA[6] （K.131補足資料 - FPGAのためのソフトエラー対策）
K.139	基準編	Reliability requirement of particle radiation effect for telecommunication systems （通信装置の粒子放射線影響の信頼性要求基準）
K.138	評価編	Quality estimation methods and application guidelines for mitigation measures based on particle radiation tests （粒子放射線検査に基づく対策のための品質推定方法とアプリケーションガイドライン）

表 2　ソフトエラー対策標準化勧告の年表

2015年	2016年	2017年	2018年
▲8月 TTC SOET Adhoc開設 ▲10月 ITU-T SG5会合にて 検討プログラムの開始が承認	▲12月 K.124承認		▲1月 K.130, K.131承認 ▲11月 K.138, K.139承認

ソフトエラーに対する影響は高純度材料（低α線樹脂等）を採用することによって低減することができます．

宇宙線によるソフトエラーは以下の要因で発生します．宇宙では太陽や超新星爆発によって，陽子を主体とした高エネルギー粒子が飛び交っています．この高エネルギー粒子が地球の大気に突入すると，大気中の窒素原子核や酸素原子核と衝突し，核反応が起きます．このとき，原子核内部にあった中性子が飛散します．大気中で発生した中性子の大部分は通常，半導体デバイスに突入しても透過し，何ら影響を与えませんが，まれに半導体デバイスを構成するシリコン原子核と核反応を起こし，電荷を持ったさまざまな粒子を発生させます．これが電気的なノイズとなり，一時的なエラーであるソフトエラーを発生させます．

■K.130（試験編）通信装置のソフトエラー試験手法

本勧告は，加速器中性子源を用いて通信装置のソフトエラーを発生させる方法と試験手順について述べています．加速器により加速された粒子（陽子・電子）をターゲット（鉛，タングステン，ベリリウム，リチウム等）に照射すると核反応が起き，中性子が発生します．この中性子を通信装置に照射することにより，自然界の数百万倍から数億倍の中性子を照射することができ，短時間でソフトエラーを再現させることができます．

■K.131（設計編）通信装置のソフトエラー対策設計手法，K Suppl.11（補足編）K.131補足資料-FPGAのためのソフトエラー対策

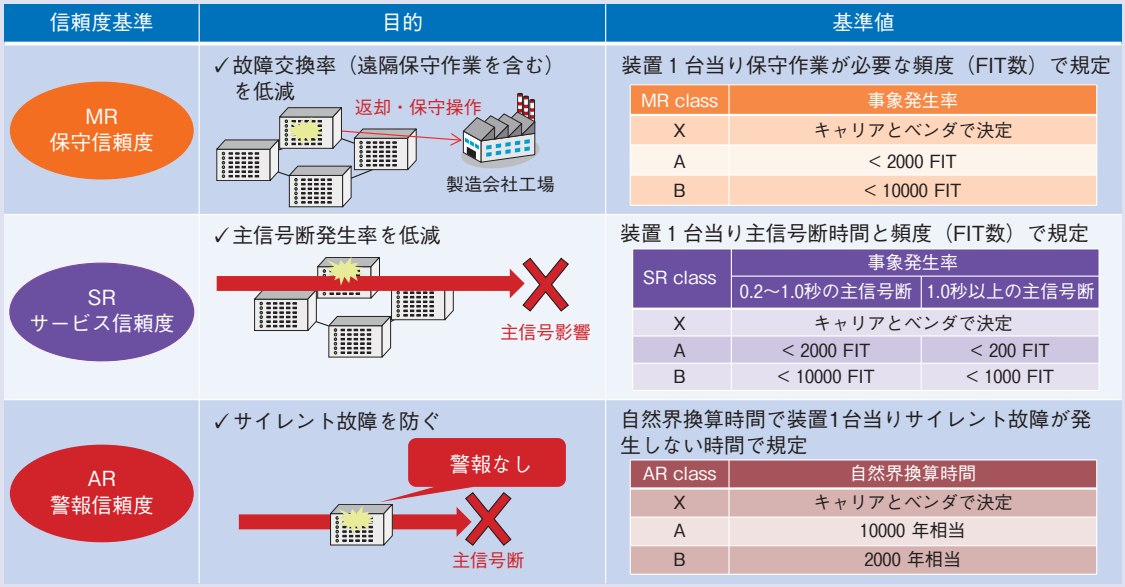
本勧告は，キャリア通信ネットワークを構成する通信装置に対するソフトエラー対策設計手法について述べています．はじめに，ソフトエラー対策の観点から対象となる通信装置の基本構成，ソフトエラーに対する信頼度規定定義と規定方法および信頼度規定に適合するためのソフトエラー対策の装置開発手順について述べています．また，特に対策が重要となるFPGA（Field Programmable Gate Array）についてはK.131の補足資料としてK Suppl.11 FPGAのためのソフトエラー対策に，FPGAのソフトエラー発生率の傾向，ソフトエラーの影響の低減方法について詳細に述べています．

■K.139（基準編）通信装置の粒子放射線影響の信頼性要求基準

本勧告は，高信頼のネットワークを構築するために必要なソフトエラーに対する信頼性の基準について述べています．ここでは，基準の考え方について紹介します．半導体デバイスの高集積化に伴い，ハードエラーに対してソフトエラーが急増していますが，ソフトエラーはハードエラーとは異なり，対策によって大幅にトラブルを低減することができます．そこで，従来から発生しているハードエラーを基準として，ソフトエラー起因の故障交換数，主信号断の発生率が統計誤差に収まる範囲をそれぞれの目標基準に設定しました．ただし，ソフトエラーによってまれに誤動作を検出できないサイレント故障が発生する可能性があります．サイレント故障は発生が許容されないので，約1万年分相当の中性子線を照射してもサイレント故障が発生しないことを信頼性基準として設定しました．このように故障交換率，主信号断発生率の低減，サイレント故障を防ぐための3つの信頼度基準を定義し，クラスを設定しました（**図2**）．この基準を満たすことで，大規模ネットワークを構築した場合の信頼性を確保できます．

■K.138（評価編）粒子放射線検査に基づく対策のための品質推定方法とアプリケーションガイドライン

本勧告は，K.130(試験編)に記載の中性子照射試験で得た結果を基に，



Class X：特に高品質が要求される装置の特別規定
Class A：キャリアネットワーク品質
Class B：特に品質が求められない装置・導入台数が少ない装置など

図2　3つの信頼度基準と基準値

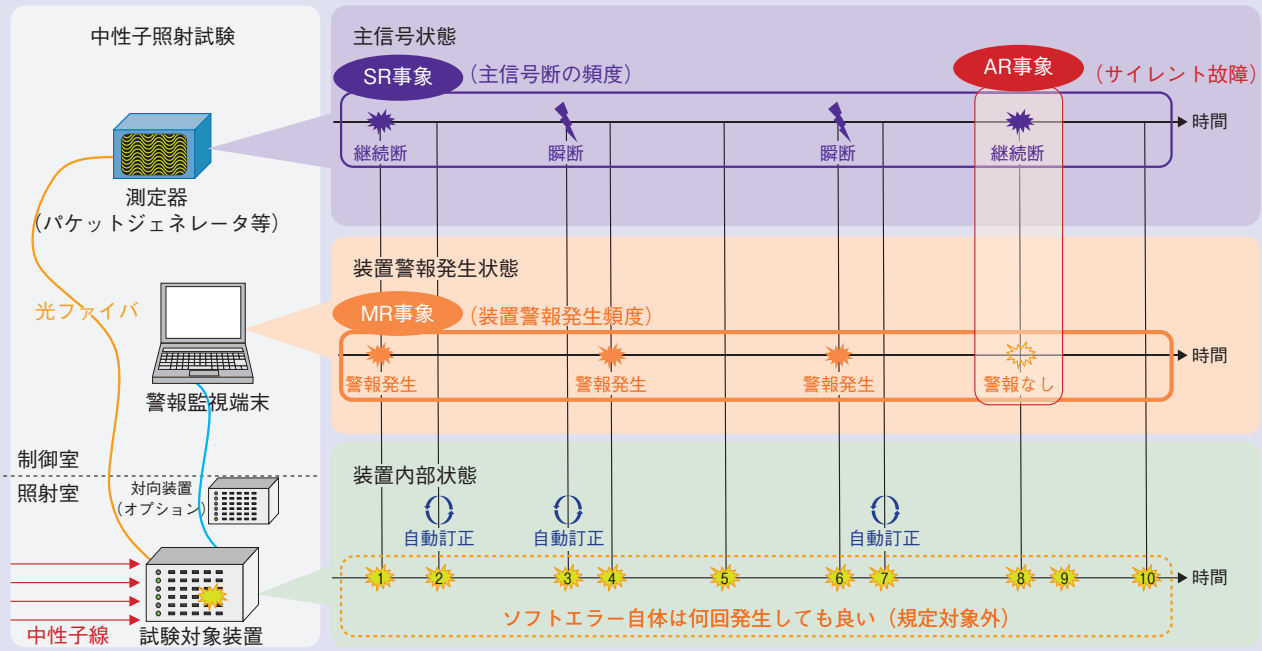


図３　評価の例

K.139（基準編）に定義されている通信装置のソフトエラーに対する各信頼度規定が満たされているかを評価する方法について述べています．K.130に記載されている試験では自然界の数百万倍から数億倍の強度で中性子を照射することで，短時間でソフトエラーを再現させることができます．評価の例を**図３**に示します．まず，中性子線を照射しソフトエラーを発生させます．測定器により主信号状態，警報監視端末により警報発生状態を確認し，発生した事象を「３つの信頼度基準」へ分類します．例えば，１回目のソフトエラーでは装置警報が発生し，主信号が切れました．この場合は，保守交換が必要と想定されるのでMR（Maintenance Reliability）に該当する事象としてカウントします．また，主信号断も発生しましたので，SR（Servicee Reliability）に該当する事象とカウントします．次に２回目のソフトエラーは自動訂正が働き，装置警報もなく主信号影響もありませんでした．この場合は，どの信頼度にもカウントされないということになります．このように，試験では主信号影響と，装置警報状態を確認します．そして８回目のソフトエラーでは，装置警報がない状態で，主信号断が継続しているので，これはサイレント故障に該当し，AR（Alert function Reliability）が１回とカウントできます．このように各信頼度基準に該当する事象をカウントします．さらに，照射時間から換算した自然界稼動時間と発生頻度から基準値を満たすかどうか判定することができます．

今後の展開

本勧告の基準を満たした通信装置が普及することにより，通信サービスの信頼性向上が期待されます．

■参考文献

(1) http://www.ntt.co.jp/news2016/1612/161219a.html
(2) http://www.ttc.or.jp/j/info/bosyu/20150804/
(3) https://www.itu.int/rec/T-REC-K.124-201612-I
(4) https://www.itu.int/rec/T-REC-K.130-201801-I/en
(5) https://www.itu.int/rec/T-REC-K.131-201801-I/en
(6) https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup11-201711-I

Technical Solution
テクニカル ソリューション

パケットキャプチャデータを活用し外部からのアクセスを自動集計・見える化

インターネットを利用中に，「時々通信が遅くなる」もしくは「つながらなくなる」などの故障申告があります．原因の１つとして，外部からの不正アクセスにより，回線に余分な負荷がかかっている場合があります．このような状況を把握するためには，パケット解析が有効となりますが高度な IP スキルが必要となります．NTT 東日本技術協力センタでは，パケットを簡易にキャプチャする装置を活用し，簡単な PC 操作で不正アクセスによるセキュリティリスクを見える化するツールを開発しました．

開発の背景

故障修理の現場では，電話やPCが使用できなくなるなどのさまざまな故障申告に対応しています．その中で，フレッツ光などでインターネットをご利用中のお客さまから，「時々通信が遅くなる」「つながらなくなる」といった故障申告を受けることがあります．これらの事象の一要因として，悪意のあるユーザからのサイバー攻撃（多量のパケットを送りつけるなど）により，回線に負荷がかかり，インターネットなどの通信に支障をきたす場合があります．それらサイバー攻撃からPCを守るために通常のセキュリティ対策としては，セキュリティソフトを用います．しかし，それらのソフトは，既知のセキュリティリスクからPCを守ることはできますが，未知の攻撃などの状況を明示し，セキュリティリスクを示すことができませんでした．

これら悪意あるユーザからの不正アクセスによる回線の負荷増加などの脅威を明示するためには，IP区間に流れている全パケットから不正アクセスとなり得るパケットを抽出し通信内容を解析することが有効となります.そのためにはWiresharkなどのソフトウェアを用いて，高度なIPスキル保有者が解析を行う必要があり，解析自体にも時間を要していました．これら状況をかんがみ，より簡単に，より早く不正アクセスの脅威を明らかにするために，簡単なPC操作で不正アクセスによるセキュリティリスクを見える化するツール「不正アクセスカウンタ」の開発を行いました．

表１　トイキャプの諸元

項　目	仕　様
容量	約25 GByte
寸法	130×95×28 mm
重量	220 g
Ethernet 規格	1000BASE-T（ミラーリングにてキャプチャ）
キャプチャ性能	最大100 Mbit/s（パケットサイズに依存）

パケットキャプチャの簡易化

パケットデータを用いて不正アクセスによるリスクを明らかにするには，まずIPパケットをキャプチャする必要があります．パケットキャプチャを専用に行う装置も販売されていますが，値段が高価であったり，操作が複雑であったりと，すべての現地対応者が作業するには障壁がありました．これらの課題を解決するためには，技術協力センタで仕様検討した簡易パケットキャプチャ装置「トイキャプ*」が活用できます[(1)]．トイキャプの諸元を**表１**に示します．トイキャプは小型・軽量で廉価なパケットキャプチャ装置であり，電源ケーブルとLANケーブルをトイキャプに接続するだけで自動的にパケットキャプチャを開始します．操作が簡単なので短時間でパケットキャプチャの準備ができ，かつ小型であるため現地対応者が携行しやすいので，パケットキャプチャが可能な機会を逃すことなく設置することができます．

「不正アクセスカウンタ」の機能と特徴

「不正アクセスカウンタ」では，トイキャプを用いて

＊ トイキャプ：グリーン株式会社とNTT東日本技術協力センタ　ネットインタフェース技術担当で共同制作した小型軽量の簡易パケットキャプチャ装置．

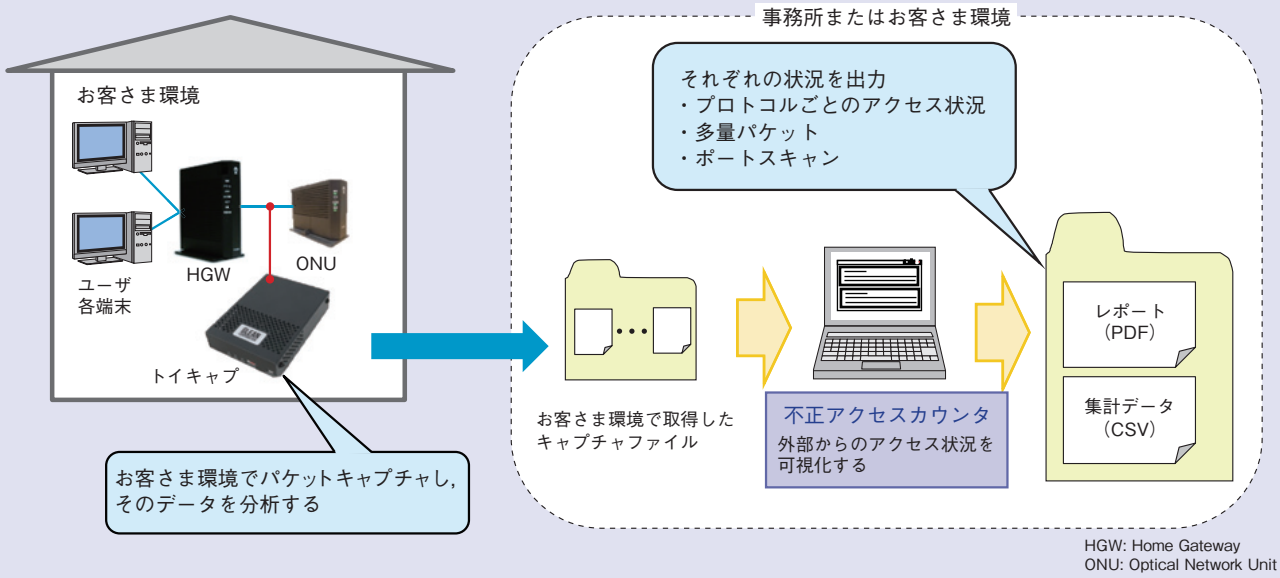


図　不正アクセスカウンタの使用イメージ

お客さま宅内でキャプチャしたIPパケットを読み込ませることによって，外部からのアクセスをカウントし，結果をCSVファイルの集計データとPDFファイルのレポートとして出力することができます．「不正アクセスカウンタ」の使用イメージを**図**に示します．「不正アクセスカウンタ」は，解析したいパケット群が格納されているディレクトリを指定するだけの簡単なPC操作で使用できます．

「不正アクセスカウンタ」は，読み込ませたすべてのパケットの中で外部からの接続要求パケット（TCP SYNなど）を抽出してカウントします．外部からのアクセスかどうかを判別する方法は，パケット送信元装置MAC（Media Access Control）アドレスのベンダコードを抽出して，そのベンダコードが宅内装置のMACアドレスベンダコードと一致するかどうかを判別し，一致しないパケットを外部からのパケットとして認識する仕組みとなっています．外部からのアクセスと認識されたパケットは，不正アクセスとなり得るリモートシェル接続やファイルサーバへの接続などのサービスごとにカウントされます．サービス種別の判別は，通信に使用するプロトコルおよびポート番号に基づいて実施されます．「不正アクセスカウンタ」の検出項目一覧を**表2**に示します．各検出項目のうち，代表的な項目のセキュリティリスクについて記載します．

⑴　リモートシェル

LAN内端末にログイン可能で，遠隔操作されてしまうおそれがあります．その結果，踏み台とされて，他のシステムなどへのサイバー攻撃に利用されるおそれがあります．

⑵　Windows共有サービスおよびファイルサーバ

LAN内端末のフォルダ内部が閲覧され，保存しているファイルを抜き取られてしまうおそれがあります．

⑶　短時間多量パケット

DoS（Denial of Service）攻撃を受けている可能性があり，多量のパケットを受信してしまうことで，通信容量や処理能力が飽和状態となり端末などが応答できなく

表2　不正アクセスカウンタの検出項目

検出項目	検出内容	検出条件
リモートシェル	機器への遠隔ログイン・操作を行うtelnetやsshで使用するポートへのアクセス	TCP SYNの宛先ポート番号が22，23のもの
ping	機器の死活監視などで使うpingのリクエスト	ICMPのTypeが8（echo request）のもの
DNS	HPを見る際などにURLとIPアドレスの解決を行うDNSで使用するポートへのアクセス	UDPの宛先ポート番号が53でQR，OPECODEが共に0（通常のクエリ）のもの
電子メール	電子メールの送信・受信で使うSMTP・IMAPで使用するポートへのアクセス	TCP SYNの宛先ポート番号が25，143のもの
Webサーバ	ブラウザでHPを見る際などに使われるhttpやhttpsで使用するポートへのアクセス	TCP SYNの宛先ポート番号が80，443のもの
Windows共有サービス	Windows端末どうしのフォルダ共有やネットワーク管理で使うSMBやNBNSで使用するポートへのアクセス	TCP SYNの宛先ポート番号が139，445のもの UDPの宛先ポート番号が137，138のもの
ファイルサーバ	FTPサーバとのファイルのやり取りで使うFTPで使用するポートへのアクセス	TCP SYNの宛先ポート番号が21のもの
IP電話	IP電話の呼制御で使用するSIPのうち通常使わないOPTION，MESSEGEパケット	UDPの宛先ポートが5060でmethodsがOPTIONS，MESSAGEのもの
ネットワーク設定サービス	IPアドレス取得などで使うDHCPで使用するポートへのアクセス	UDPの宛先ポートが67でメッセージタイプがDISCOVER，REQUESTのもの
接続要求	TCPで通信しようとしてくるアクセス	TCP SYNパケット
短時間多量パケット	1秒間に多量のパケットが送られてくる（DoS攻撃イメージ）状況	同一IPアドレス，ポートに対するパケット数が1秒間に10を超えたもの
ポートスキャン	短時間に発生した多数ポートへのアクセス（ポートスキャン）	同一IPアドレスから1秒間に10以上のポートへパケットが送られてきたもの

なるおそれがあります．

⑷　ポートスキャン

さまざまなサービスのポートへ接続要求を行うパケットを送信し，アクセスを許可しているポートがないかどうかを探索する行為で，外部の悪意あるユーザから，脆弱性などがないかを調査されている可能性があります．

他の項目についても，Webページ閲覧やメール送受信など一般的な利用では，外部からの接続要求が発生しないサービスです．

今後の展開

トイキャプを用いてキャプチャしたパケットを「不正アクセスカウンタ」で解析することにより，不正アクセスによるセキュリティリスクの見える化を，短時間かつスキルレスで実現することができます．今後は，現地対応者が「不正アクセスカウンタ」を用いて，お客さまにとって安心・安全が実現できるセキュリティサービスを提案するなどの利用シーンを検討していきます．さらに，故障修理においてパケット解析を行っているノウハウを活かし，パケット解析を自動で行う新たなツールなども開発していきます．

■参考文献

⑴　テクニカルソリューション：“廉価版キャプチャ装置によるパケットキャプチャの新たな活用方法の模索，” NTT技術ジャーナル，Vol.29，No.1，pp.50-51，2017.

◆問い合わせ先

NTT東日本
ネットワーク事業推進本部　サービス運営部
技術協力センタ　ネットインタフェース技術担当
TEL　03-5480-3702
E-mail　nif-ngn-ml@east.ntt.co.jp

微細なメカニカル振動子を用いた核磁気共鳴の制御に成功
――核スピンを素子単位で個別に操作する新技術

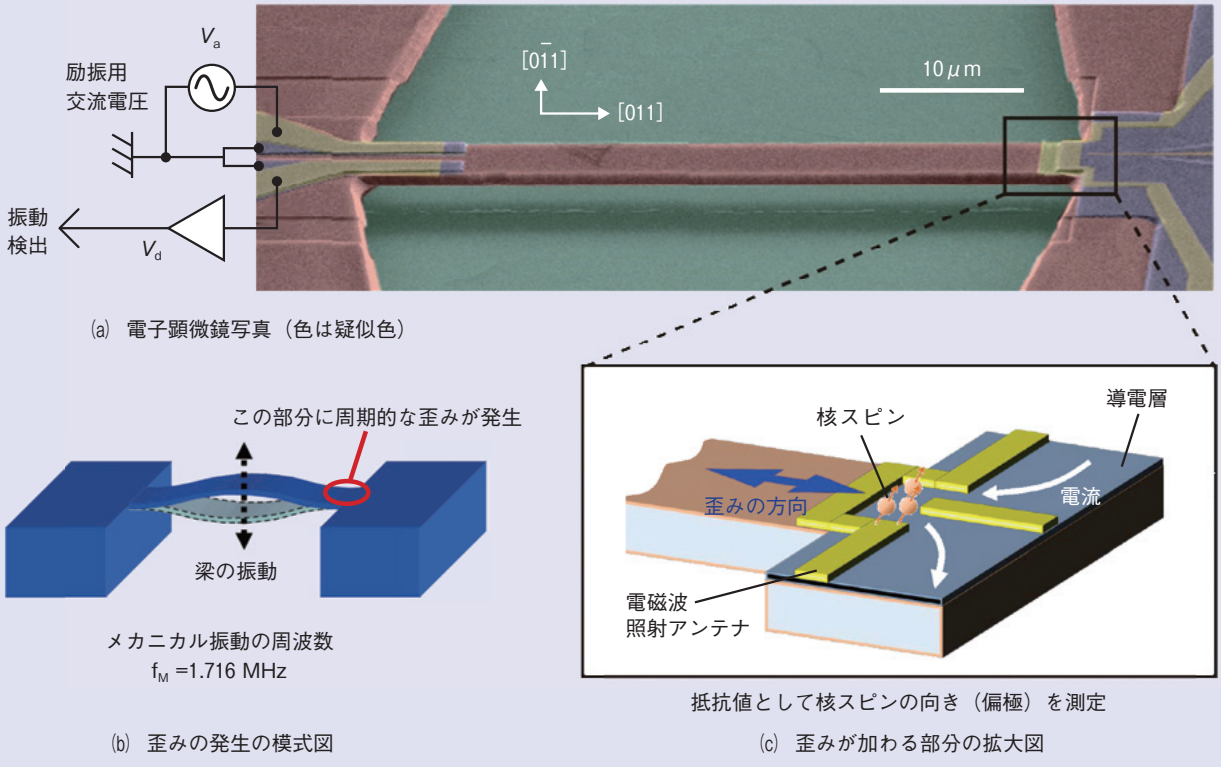
NTTと国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）は共同で，微細なメカニカル振動子を用いて固体中の核磁気共鳴現象を制御することに世界で初めて成功しました．

昨今，超高速の演算を可能とする量子コンピュータや，絶対的な安全性が期待される量子情報通信，あるいは超高感度の検出技術を提供する量子センサなどの量子技術において，量子メモリの重要性が注目されています．量子メモリとは長い時間，量子状態を保持できる素子であり，その候補の1つとして固体中の核スピンの利用が提案されています．今回，微細なメカニカル振動子が引き起こす歪みにより，核磁気共鳴の周波数を素子単位で制御できることが実験的に示されました．この技術により，集積素子における所望の量子メモリの核スピンを個別に操作することが可能となり，固体素子による量子メモリを実現していくうえで，重要な要素技術となることが期待されます．

本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会　科学研究費補助金　新学術領域研究「ハイブリッド量子科学」（領域代表:東北大学大学院理学研究科教授　平山祥郎）の一環として行われました．

■背　景

原子核の自転運動である核スピンは，磁場中に置かれると固有の歳差運動をします．この歳差運動は，長時間にわたって状態を維持できる性質を利用して量子情報を



(a)　電子顕微鏡写真（色は疑似色）

(b)　歪みの発生の模式図

(c)　歪みが加わる部分の拡大図

図　作製したメカニカル振動子の構造

記録する量子メモリや，磁場に敏感である性質を利用した磁場センサなど，さまざまな素子への応用面で注目されています．一般に，核スピンを操作する方法としては，磁場中で歳差運動に共鳴する電磁波を照射する核磁気共鳴法が用いられます．しかし，一様に広がる磁場と空中を容易に伝搬してしまう電磁波を用いる従来の手法では，広い領域で同時に核磁気共鳴を引き起こしてしまうため，多数の素子を小さなチップに配置した集積回路において，所望の素子の核スピンを個別に操作することが困難であるという課題がありました．

■成果の概要

今回，このような核スピンを個別に操作するために，核磁気共鳴の周波数が固体中の歪みに対して敏感に変化するという性質を利用しました．材料中の所望の位置に人為的に歪みを発生させることで，核磁気共鳴を素子ごとに制御することが実現可能になります．局所的な歪みを発生するために，ナノ加工技術を駆使して微細なメカニカル振動子を作製し，これを用いて，構造が振動するときに発生する周期的な歪みによる核磁気共鳴の制御を試みました．その結果，振動による共鳴周波数の変調や，振動歪みと電磁波が組み合わさって引き起こされる新たな核磁気共鳴（サイドバンド共鳴）を世界で初めて観測することに成功しました．

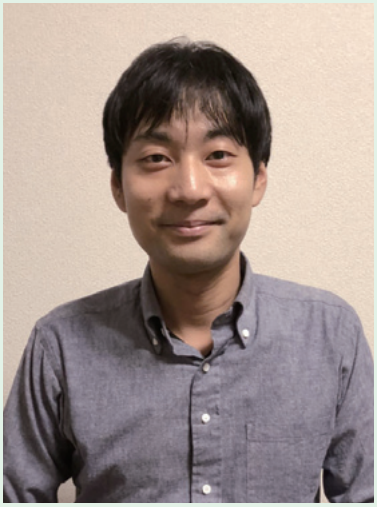
■実験の概要

作製した振動子（**図**(a)）は両もち梁と呼ばれる構造を有し，圧電半導体であるガリウムヒ素（GaAs）を微細加工することにより作製しました．圧電効果を用いてこの構造を電気的に振動させることにより，梁構造の根元

音波を利用してミクロなコマ（スピン）を制御する

研究者紹介

岡崎　雄馬
国立研究開発法人　産業技術総合研究所
物理計測標準研究部門　量子電気標準研究グループ　研究員



本研究では，機械振動子で発生させた音波を利用して，原子核の自転である核スピンを制御する基本原理を実証しました．原子核の大きさは10^{-15} m程度といわれており，人間のサイズに比べ15桁も小さいミクロな世界にアクセスするというもので，まるで極小のコマを操るかのようです．

核スピンを音波で制御・計測する原理自体は60年以上前から知られていましたが，音波の効率的な制御・計測は実は結構難しく，あまり精力的に研究されてきたとはいえません．実際，本研究と同様の実験自体は従来から提案されていたものの，機械振動子の高い加工・制御技術，核スピンの高感度測定など高度な実験技術の融合が必要不可欠であり実現困難でした．NTT物性科学基礎研究所には振動子の作製に必要な世界最高水準の薄膜作製技術・ナノ加工技術があり，また核スピンの計測技術に知見のある研究者が複数在籍していたため，その方々との議論を参考にすることで実現できました．それでも当初は，測定結果に雑音が多く，信号と雑音を区別することが難しかったので，とても論文にできるデータとは思えませんでした．その後，NTT所属の理論研究者との議論を参考に数値計算を行い，観測した現象の起源を解明できたことで，4年程度を要しましたが論文になりました．本成果を基に，核スピンの新しい制御・計測技術を発展させていくことを今後めざしたいと思っています．

の部分に周期的な歪みを発生させ（図(b)），この歪みが発生している個所の材料中に含まれる核スピンの振る舞いを変化させることができます．実験では，周期歪みによる磁気共鳴周波数の変調に世界で初めて成功したほか，梁構造の振動周波数だけずれたところに共鳴ピークが現れるサイドバンド共鳴と呼ばれる新しい核磁気共鳴現象の観測に成功しました．観測した実験結果は，いずれも歪みと核スピンの相互作用モデルに基づいた理論計算の結果とよく一致していることから，振動子によって発生させた歪みによる効果であることが実証されました．

■今後の展開

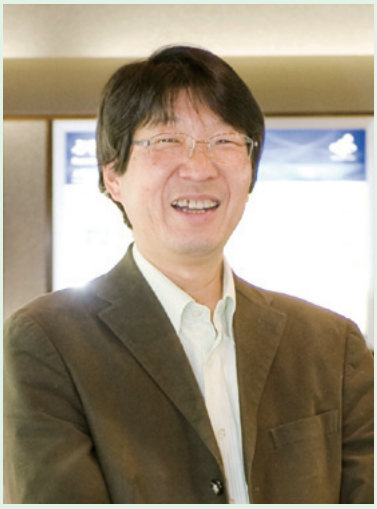
メカニカル振動子は，トランジスタなどと同様に半導体ナノ加工技術によって作製されるため，半導体チップへの組み込みが可能です．本技術を用いて複数の素子における核スピンの選択的制御を実現し，量子メモリや量子センサなどの集積化に向けたプラットフォームとしての活用をめざします．

◆問い合わせ先
NTT先端技術総合研究所
広報担当
TEL　046-240-5157
E-mail　science_coretech-pr-ml@hco.ntt.co.jp
URL　http://www.ntt.co.jp/news2018/1808/180828b.html

ナノマシンで探る量子の世界

研究者紹介

山口　浩司
NTT物性科学基礎研究所
量子電子物性研究部　ナノメカニクス研究グループ
上席特別研究員



昨今，微小な機械共振器の研究が大きな進展を示しています．機械共振器とは，例えば身近な例では鐘や鉄琴など，決まった周波数で振動が長く続く人工構造のことを意味しますが，最新のナノテクノロジを用いて作製したメガヘルツからギガヘルツという高い周波数で振動する機械共振器の研究が，世界の著名研究機関において精力的に進められています．その大きな目的の1つはこのような「ナノマシン」を用いてさまざまな量子状態を制御するというものであり，光や電子スピン，超伝導量子ビットなど，さまざまな物理系との結合動作が実現されています．今回，非常に寿命の長い量子系として知られている核スピンと機械共振器との結合動作を，世界で初めて実現することに成功しました．

私がNTTにおいてこのような機械共振器の研究をスタートしたのは20年近く前です．ゼロからのスタートであったため，最初の数年間は素子の作製，評価，解析のすべてが全く手探りの状態であり，うまくいかない毎日が続きました．内外の多くの方々のサポートや助言を受け，ようやくここ10年ほどの間で世界的に注目される成果が出るようになってきたと思います．この場をお借りして，これらの方々にお礼を申し上げるとともに，新しい研究に引き続きチャレンジしていきたいと思います．今回の成果を出すにあたり，産業技術総合研究所の皆様には大変お世話になりました．深く感謝させていただきたいと思います．