

# 5Gの価値を最大化する、 コンテナ／仮想／物理環境で 高性能、かつ柔軟な NECのUPF

## 5Gのポテンシャルを引き出す NEC UPFの特徴

5Gのアーキテクチャでは、これまで統合されていたCプレーン（コントロールプレーン）とUプレーン（ユーザプレーン）が完全に分離されました。これをC/U分離（CUPS）と呼びます。

C/U分離によって、通信制御機能を提供するCプレーンのノード群をクラウドに集約し、5G通信エリアにはユーザーデータのトラフィックを処理するUPF（User Plane Function）とRAN（無線通信設備）だけを配置できるようになりました。

これにより、サービスプロバイダーがCプレーンの機能をマネージドサービスとして提供することが可能になり、ユーザーが5G通信エリアを新規展開するうえでの導入・運用の負担が大幅に軽減されます。

その一方で、5Gの持つポテンシャルを十分に引き出すためには、UPFにいくつかの要件が求められます。

たとえば5Gでは、4G LTEの数十倍となる1端末あたり下り20Gbpsの大容量・高速通信、1ミリ秒未満の超低遅延・高信頼通信というスペックを掲げています。これを実現するためには、高いパフォーマンスのUPFが必要になります。

また、5Gではさまざまな展開環境への対応も欠かせません。モバイルキャリアが提供する商用5G通信サービスだけでなく、ローカル5Gやプライベート5Gを活用した産業向けソリューションにも対応するために、UPFは多様な規模とプラットフォームに展開できる必要もあります。

NECが開発・提供するUPFは、そうした要件を満たした製品です。背景には、モバイルネットワークと

## NEC UPFのキーハイライト

- 3GPP 準拠
- 5G/4G/3Gのコンボノード（UPF + PGW-U / SGW-U + GGSN-U）
- IPv4、IPv6、IPv4/v6の packets 通信対応
- I-UPF、MEC への対応
- オンライン / オフラインの課金処理
- レート制限
- DSCP による IP トラフィックの QoS ポリシー定義
- N+1 ノード冗長（セッション維持・高速切り替え）
- 基本 DPI 機能の内蔵、高度な DPI 機能のプラグイン
- マルチプラットフォーム対応（VM / コンテナ）
- ネットワークスライシング

コンピューティングの両領域における NEC の高い実績と技術力、そして市場ニーズをふまえた5G製品戦略があります。

NECでは2021年6月、最新サーバープロセッサと100GbE NICを搭載した2U／2ソケットサーバーで、サーバー1台あたり640Gbpsのトラフィック処理性能を持つUPFの実証試験に成功しました。これは、従来の性能限界を大きく引き上げるものです。

さらに、NECのUPFはマルチプラットフォームに対応する柔軟さも合わせ持ちます。ハードウェアアプライアンスだけでなく、仮想マシンやコンテナの形態でも提供できます。パブリッククラウドにも展開できるので、5Gネットワークのスタートアップや短期利用も可能です。4G/3GのUプレーン機能も統合した「コンボUPF」であり、投資コストの削減も実現します。

本ホワイトペーパーでは、NECによるUPF性能実証試験の詳細や、高性能実現の背景技術、幅広いUPFラインアップとユースケースを紹介します。

# コンテナ型UPFソフトウェアの パフォーマンステスト結果

## NEC UPFは圧倒的に高い 通信処理性能を実証

NECでは今回、自社で開発・提供するコンテナ型UPFソフトウェアを使用して、1サーバーあたり640Gbps（1CPUあたり320Gbps）という高いトラフィック処理性能を実証しました。以下に具体的な測定環境や測定条件、試験結果を示します。

この測定環境では、第3世代インテル® Xeon® ス

ケーラブル・プロセッサ（開発コード名:Ice Lake）（32コア×2ソケット）とデュアルポート100GbE NIC×4基を搭載した汎用的なx86サーバー、Linux、Kubernetesで構成されたプラットフォーム上で、NECのコンテナ型UPFソフトウェアが稼働しています（1サーバーあたり8 pod）。ここに一般的なモバイルネットワークサービスを模したテストトラフィックを流して、UPFの処理性能を測定しました。

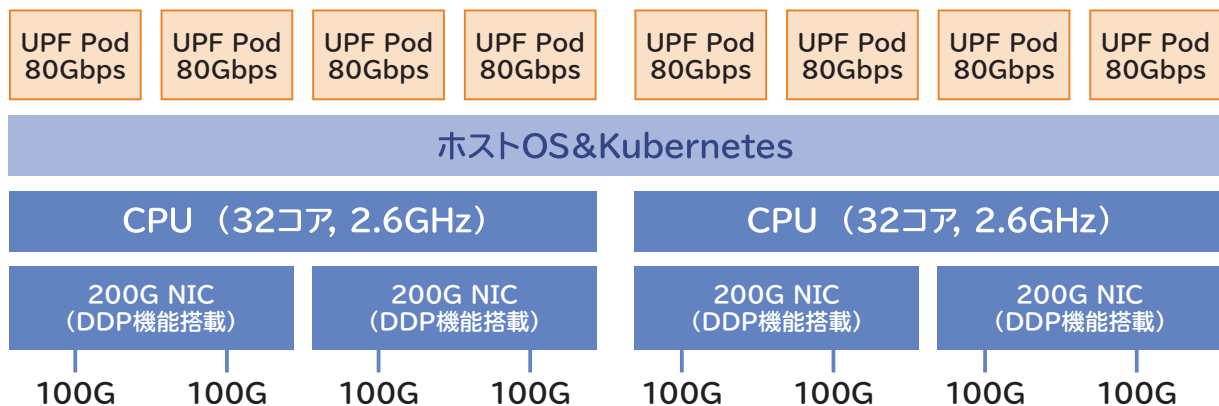
### 測定環境

CPU	インテル® Xeon® Platinum 8358プロセッサ 2.60GHz, 32コア×2ソケット
メモリ	DDR4-2933 DIMM (8ch/CPU)
NIC	インテル® イーサネット・ネットワーク・アダプター E810-2CQDA2×4基
ホストOS	CentOS Linux 8.2
ホストOSカーネル	4.18.0-193.28.1.el8_2.x86_64
Kubernetes	Ver. 1.19.3
DPDK	Ver. 20.08

### 測定条件

スループット (Gbps)	640Gbps
セッション数	40万セッション
FAR数	2FAR perセッション
QER数	2QER perセッション
URR数	2URR perセッション
アップロード／ダウンロード比率	アップロード:ダウンロード = 1:3
ユーザーパケットサイズ	800バイト

### 640Gbps/サーバー





# NEC UPFの内部アーキテクチャと 高性能実現の技術施策

## 圧倒的高性能を実現した NECの高性能実現の技法

前ページで紹介したNEC UPFの高いパフォーマンスは、どのようにして実現されたのでしょうか。

NECのUPFでは、インテルが提供するDPDK (Data Plane Development Kit) や DDP (Dynamic Device Personalization)といったテクノロジーを活用していますが、ここにNEC独自の知見に基づくさまざまなソフトウェア上の工夫と技術施策を加えることで、サーバーの持つ処理能力を最大限に引き出しています。その主要なポイントを見てみましょう。

### ① CPU使用率の最大化： CPU Pinning、ポーリング型ドライバ

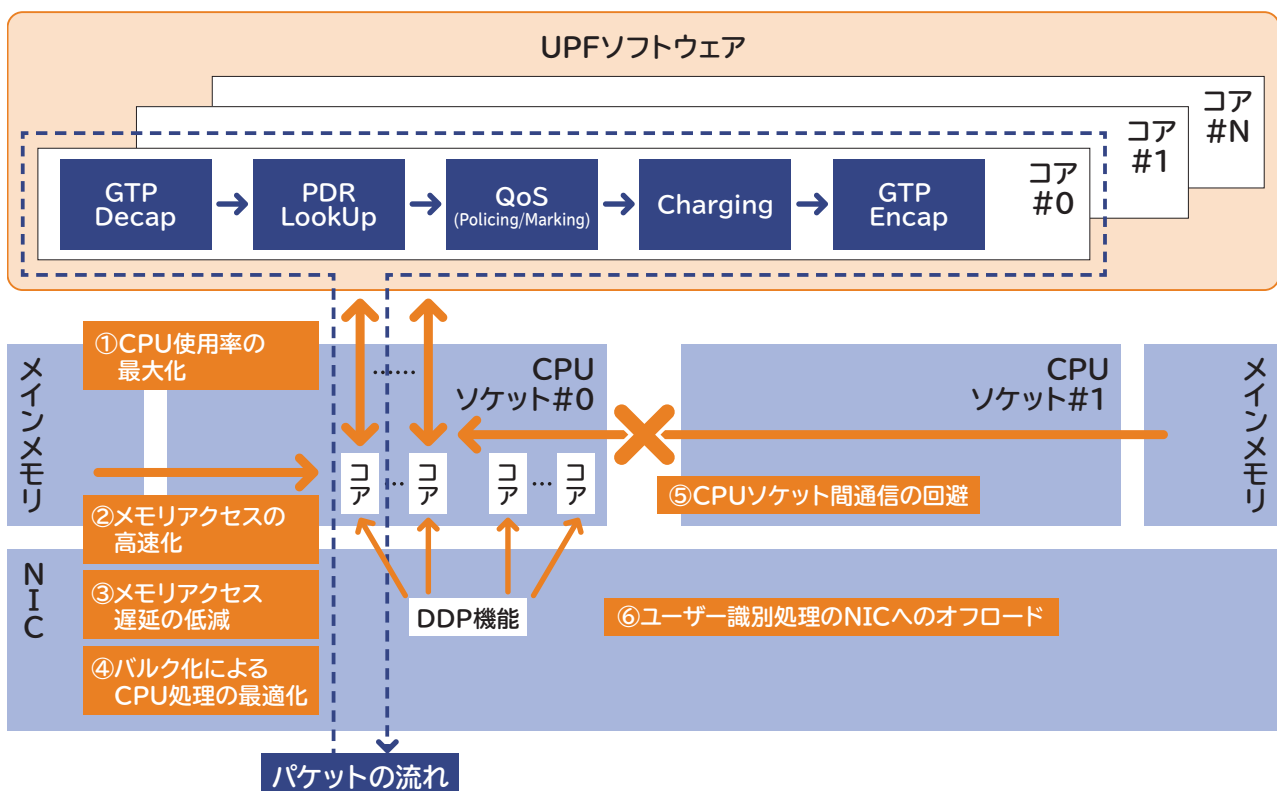
通常のLinuxシステムでは、複数のアプリケーション（プロセスやスレッド）が1つのCPUコアを共有して動作します。CPUコアは、OSのスケジューリング

に従って複数スレッドの命令を順に処理していく仕組みです。

ここにUPFアプリケーションを載せると、ほかのスレッドによってタスク割り込みが発生し、パケット転送処理が待たされるケースも発生します。

そこでNECでは、UPFのパケット処理スレッドにLinuxの「CPU Pinning」機能を適用し、CPUコアを専有させています。つまり、特定のCPUコアを「パケット処理専用」として扱い、処理効率と性能を高めているのです。

さらにここでは、DPDKで提供されるポーリング型NICドライバ (PMD: Poll Mode Driver)も活用しています。通常はNICがパケットを受信したという通知を受けてOSが処理を開始しますが、PMDではNICのポーリングを常時実行して、パケット受信時に素早く処理するという動作を行います。これにより、UPFは安定して高速なパケット転送処理を実現します。



## ② メモリアクセスの高速化： HugePagesの活用

Linuxでは、アプリケーションがメモリを扱いやすくなるように、物理メモリ空間を抽象化した仮想メモリ空間の仕組みが用意されています。物理・仮想メモリ空間はともに「Page」と呼ばれる単位（サイズ）で細かく区切られており、各Pageには管理のためのアドレス番号が割り振られています。デフォルトでは1Pageのサイズは4KBです。

アプリケーションがメモリ上のデータを参照する場合は、仮想メモリアドレスを使ってデータの位置を指定します。プロセッサは、カーネルが保持する仮想・物理のメモリアドレス変換テーブルを参照し、物理メモリ上のデータ位置を理解したうえでデータにアクセスします。

ここでアプリケーションの扱うデータ容量が巨大な場合は、Pageサイズが小さいとカーネルが大量のアドレス変換処理を行うことになり、アプリケーション性能が低下する原因になります。大量の packets 転送処理を行うためにGB単位のメモリを消費するUPFは、まさにそうしたアプリケーションの1つです。

そこでNECでは、Linuxの「HugePages」機能を有効にして、UPFが扱うメモリのPageサイズを1GBに設定しています。これにより、巨大なメモリを効率よく参照することができ、処理のオーバーヘッドが軽減されます。

## ③ メモリアクセス遅延の低減： データのプリフェッチ

プログラムが参照、利用するデータを、あらかじめメインメモリ（DRAM）からCPU上のキャッシュメモリ（D-Cache）に読み出しておく処理を「プリフェッチ」と呼びます。プログラムが何らかの処理を開始してからメインメモリにアクセスしてデータを読み出す手順だと、DRAMへのアクセス時間だけ処理が遅延しますが、プリフェッチを行うことでこの遅延が低減できます。NECのUPFでは、このプリフェッチを積極的に活用して処理のオーバーヘッドを削減し、処理速度を向上させています。

## ④ バルク化によるCPU処理の最適化

データと同様に、アプリケーションの命令もCPUにキャッシュする機構（I-Cache）が備わっています。

同じ処理を複数回実行する場合、2回目以降は命令がキャッシュされているために高速な処理ができるわけです。この仕組みを利用して、複数回分の命令をまとめて処理することを「バルク化」と呼びます。

UPFの packets 転送処理では、基本的には個々の packets に対して同じ処理ステップを繰り返すことになります。そこでNECでは、各処理ステップに対して複数の packets を同時に入力し、バルク化することで命令キャッシュの効率を高め、スループット向上を実現しています。

## ⑤ CPUソケット間通信の回避

インテル® Xeon® プロセッサを2つ搭載しているサーバーでは、メモリは2つのソケット配下に分散して接続されます。そのため、プロセッサAからプロセッサB配下にあるメモリにアクセスする際は、プロセッサ同士をつなぐ通信路であるインテル® ウルトラ・パス・インターコネクト（UPI）を経由して通信することになります。

ただし、大容量データを扱う処理においては、このUPI帯域がボトルネックとなって処理速度が低下する可能性があります。そこでNECのUPFでは、UPIをまたいだメモリアクセスが発生しないようにソフトウェアを設計しています。

## ⑥ ユーザー識別処理のNICへのオフロード

UPFで packets 転送処理の効率を高めるためには、同一ユーザーの packets を同一のCPUコアに送り、ユーザー固有の処理をさせる必要があります。

これを実現するために、これまではUPFソフトウェアの中で受信 packets のユーザー識別を行い、同じユーザーの packets を同一コアに分配したうえで、ユーザー固有の処理を実行していました。しかしこの場合、前段のユーザー識別処理を行うコアと後段のユーザー固有の処理を行うコアの間でスイッチング処理が必要になります。コアの利用効率が悪く、処理そのものも複雑でした。

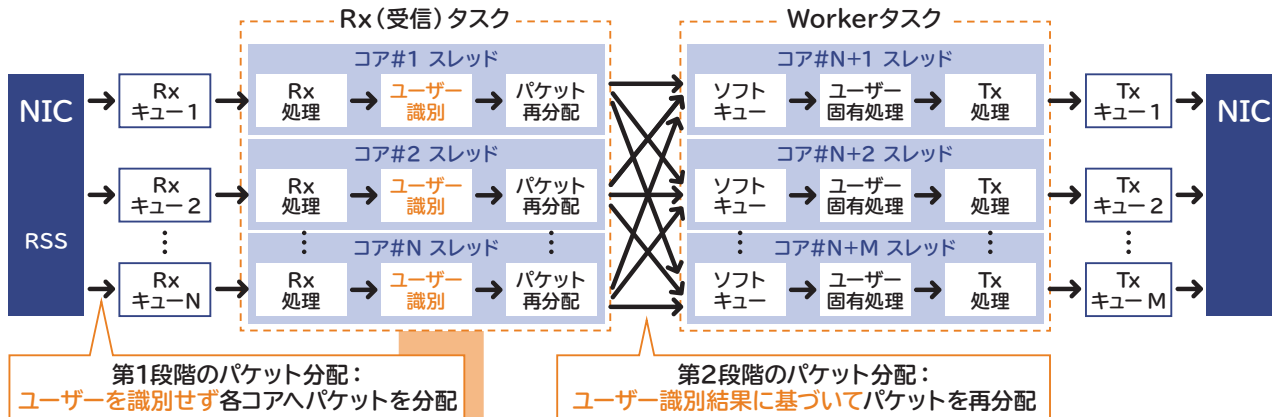
そこでNECでは今回、インテル製NIC（E810）が備えるDDP機能を活用して、ユーザー識別処理をNICにオフロードしています。DDPはNIC上で packets のユーザー識別を行い、ユーザーに割り当てられた特定のコアに packets を転送する機能です。

このDDPを活用したことで、UPFソフトウェアでユーザー識別処理を行う必要がなくなり、CPUコア

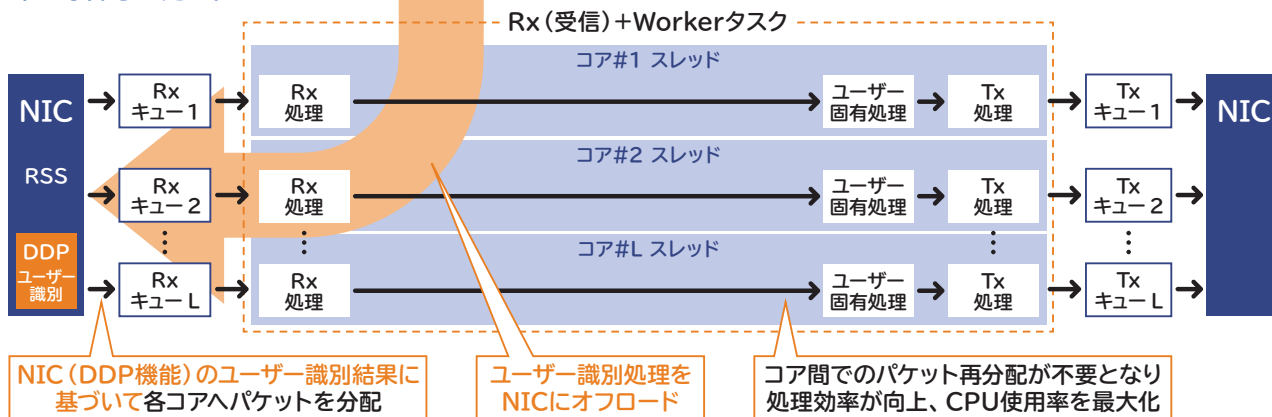
の使用効率が改善されました。さらに、コア間でパケットを再分配（スイッチング）する必要がなくなり、その処理にかかっていたタイムロスも削減されました。ソ

フトウェア処理全体がシンプルになったことで、処理効率とスピードが大幅に改善されています。

## 従来の方式



## 今回採用の方式



# 幅広い規模とユースケースに対応するUPFラインアップ

## コンテナ／仮想／物理プラットフォームに対応

NECのUPFはソフトウェアベースで開発されており、幅広いプラットフォームに展開できることも特徴です。

コンテナや仮想マシン（NFV）として提供する「ソフトUPF」は、キャリア自身のデータセンター／エッジデータセンターのみならず、顧客企業のデータセンターやパブリッククラウドにも展開できます。そのメリットを生かし、CU/DU/MECと同じ基盤への展開を含めて、それぞれのトラフィックやネットワーク特性に合わせた柔軟かつ迅速なUPFの展開を可能にします。さらに、高い性能を実現できたことでデータセンターのサーバー設置スペースや電力を大幅に効率化することが可能になり、キャリアのコスト削減にも貢献できます。

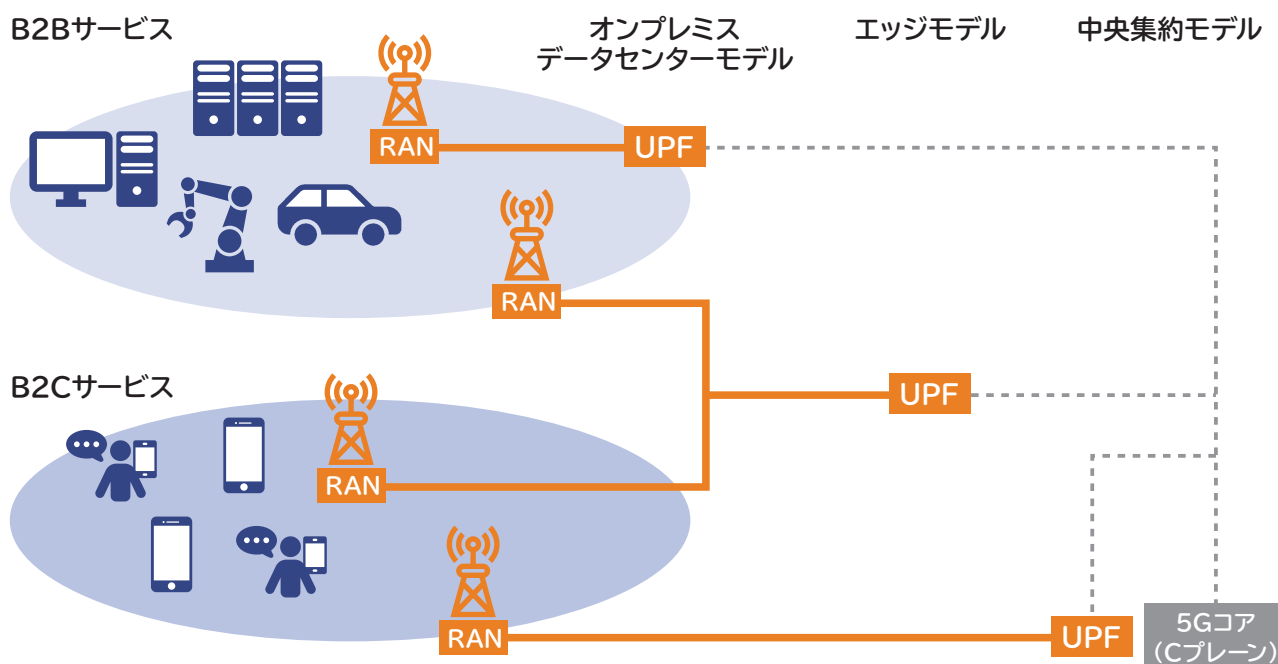
また、x86サーバーにUPFソフトウェアを搭載し

て提供するハードウェアアプライアンスの「1BOX型UPF」は、ハードウェアの能力を引き出す独自のチューニングによって、2Uサイズながらも高いスループットとセッション処理能力を提供します。加えて、ローカル5Gやイベント会場での一時設置といった環境にも簡単に設置できる、1BOX型の半分以下というコンパクトなアプライアンス「小型UPF」もラインアップしています。

## 5G/4G/3G 統合Uプレーン

5G UPFの機能だけでなく、4G/3GのUプレーン処理機能（PGW-U/SGW-U + GGSN-U）も統合した「コンボUPF」であることも特徴です。たとえば既存の4G/3Gネットワークから5Gネットワークへの段階的移行を進める際に、Uプレーン処理はこのコンボUPFだけでシンプルにまかなうことができ、投資コストや運用コストの二重化を防ぐことができます。

## NEC UPFの柔軟な展開モデル





## B2B2Xビジネスも含む 多様な可能性を現実化

幅広いプラットフォームに展開できる NEC UPF は、幅広いユースケースに対応しやすい特徴を持ちます。モバイルキャリアの商用ネットワーク、エンタープライズのローカル 5G はもちろん、キャリアと各業界パートナーが協業して各産業向けのソリューションを提供する「B2B2X」モデルのビジネスも展開しやすくなるでしょう。

たとえばスマート工場向けの 5G ソリューションを B2X モデルで提供する場合、C プレーンは中央のデータセンターに 5G コアを配置してマネージドサービスとして提供し、ユーザー側の環境（工場）には UPF と RAN 設備だけを設置する形で運用する形態が可能となります。

このとき、U プレーンのトラフィックはローカルネットワーク内にとどまるため、外部に持ち出したくない

データもセキュアに扱うことができます。UPF 経由で社内のデータネットワークに接続して、たとえば工場の稼働データと経営データを統合分析するような利用方法も考えられます。

また、ネットワーク全体の中で必要な箇所に U プレーンを柔軟に配備できますから、「広帯域」「超低遅延」など異なる要件の利用シーンごとに、最適な U プレーンを効率的かつ低コストで実現することができます。

\* \* \* \* \*

NEC が提供する 5G コアネットワークは、UPF に限らず、コンテナ化されたクラウドネイティブなコンポーネントで構成されており、3GPP 標準に準拠したオープンなアーキテクチャを採用しています。5G は多様なビジネス展開が期待されるテクノロジーですが、NEC の 5G 製品は、あらゆるケースにおいて迅速かつ柔軟、そしてパワフルに、ユーザーの 5G 展開をサポートします。

※本冊子に掲載されている商品・サービス等の名称は、各社の商標または登録商標です。

※Intel、インテル、Intel ロゴ、その他のインテルの名称やロゴは、Intel Corporation またはその子会社の商標です。

発行: NEC ネットワークサービスビジネスユニット

<https://jpn.nec.com/tcs/5GC/>

2021年6月

© NEC Corporation 2021