

スマートポート・ハンブルグ港の5Gへの取り組み

2022, 03, 04 松本昌二

(要約)

ドイツのハンブルグ港はスマートポート、デジタル変革、及び5Gへの取り組みについて様々なレポートを発表してきたが、本報告はそれらの概要を編集したものである。ハンブルグ・ポートオーソリティ HPA は、スマートポート smartPORT プロジェクトを推進中であり、ロジスティクス、交通管理、エネルギー、インフラ管理においては効率性こそが最も重要であり、それを可能にするのが5Gである。

HPA、ドイツテレコム、ノキアによる5Gの現地試行は、基本5Gユースケースの完全なデモンストレーションであり、URLLC、eMBB、mMTC、及びネットワークスライシングを装備している。これらのユースケースはHPAの生産性を向上すると共に、環境面・社会面の様々な便益をもたらす。これは実験室での試行でなく、現地での試行であることが、HPAにとって非常に重要であり、そういう複雑で変化する環境下におけるネットワークスライシングは挑戦的である。

5Gの予備知識：ネットワークスライシング

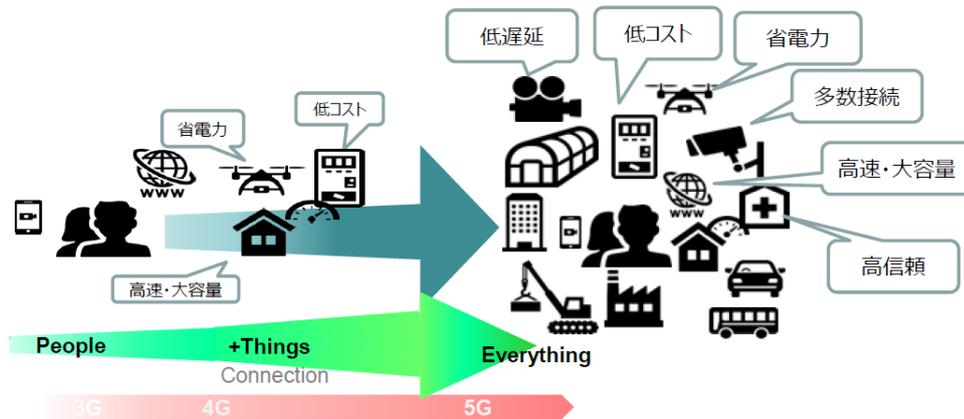
以下に述べるハンブルグ港の事例をよりよく理解できるように、複雑多岐にわたる5G技術の一つであるネットワークスライシング(Network Slicing)について、森川(2020)とNTTドコモの資料を使用して、簡単に紹介する。

5Gが対象とするサービスは、スマートフォン向けのものだけでなく。建設機械の遠隔制御、工場機械の自動制御、ゲームなどのサービス要求条件が厳しい高スペックのものから、環境センサーやスマートメーターなどの低スペックなものまで、多様な要求条件をもつサービスをより安価に提供しなければならない。

現在のコアネットワークは、端末の種類や提供サービスを考慮せずに、全てのデータを画一的に転送している。5Gでは、高速・大容量、低遅延、同時多数接続といった様々な要件毎に仮想的なネットワークであるネットワークスライスを生成する。一つの物理的なネットワークを仮想的な複数のネットワークスライスに区切り、異なる要求条件をもつデータをそれぞれのネットワークスライス上で転送する。

ネットワークスライシングにより、スライス毎に通信の「質」が変化することになる。代表的には3つのスライスがあって、超高速・大容量通信(eMBB)、超高信頼・低遅延通信(URLLC)、大量端末接続通信(mMTC)である(下図ではmMTCはmIoTと記述されている)。ただし、これら3つをすべて同時に実現できるわけではなく、ニーズに応じてどの特性を優先するかを調

整して使うことになる。



- 5G時代のネットワークでは、あらゆるものが繋がることを前提としている
- 更なる高速・大容量、高信頼、低遅延など、幅広い要求条件に対応する必要がある



単一のネットワークを、異なるサービス要求条件に応じた複数のスライスに分けて実現

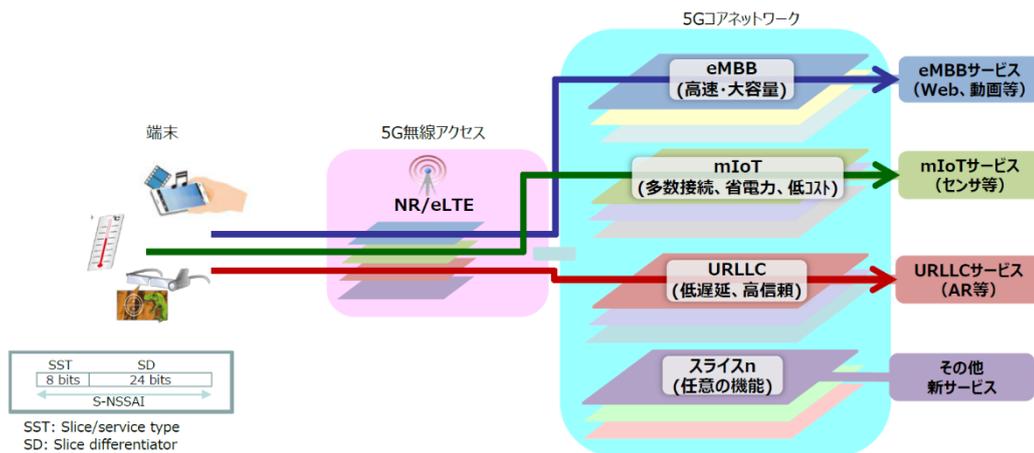


図 1. 5G ネットワークスライシング (NTTdocomo)

ハンブルグ港：世界へのゲートウェイ

ハンブルグ港は、ドイツのエルベ川にある海港であり、北海まで110kmの位置にある。港は80平方kmを占め、その半分40平方kmが陸域である。ドイツ最大の港であり、国の「世界へのゲートウェイ」と呼ばれる。2018年のコンテナ取扱量は、870万TEUで、欧州で第3位（ロッテルダム港、アントワープ港に次ぐ）、世界で第15位にある。

ハンブルグ・ポートオーソリティ HPA (Hamburg Port Authority、ハンブルグ港湾公社) は、2005年以來、未来志向の港湾管理サービスを提供してきた。港の安全で効率的なプロセスを確保し、拡大する需要を満たすために、HPAはインテリジェントで技術革新的な解をめざしている。HPAは、資源効率がよく持続可能な計画づくりとインフラ事業の実施に責任をもっている。

海側と陸側のインフラに関わる全ての問題に取り組む窓口である。例えば、船舶航海の安全性、港の鉄道施設、港の資産管理、そして港でのビジネス条件に関わっている。

スマートポート・ハンブルグ(smartPORT Hamburg)

HPA は、港の未来は空間的開発だけではなく、同時に新たなスマートな手法に規定されると考えてきた。様々な交通フローと情報フローが集合しあって、効率的な港の管理が実現するのである。エネルギー資源、インフラ管理、交通制御、そして資産管理となると、「効率性」こそがハンブルグ港にとって最も重要な変革点となる。

スマートポートの開発は、多少の勇気と大量のイノベーション思考が必要である。近代的なITによる交通通信システムが、港の交通と物流のフローを加速し、より効率的に調整する。それと同時に、HPA は港での持続可能なエネルギー使用と資源の保護に貢献する。このようにして、ハンブルグ港は持続可能な状態で成長し、ハンブルグ都市圏の主要な経済力の一つとして存続できるだろう。

ハンブルグ港の smartPORT プロジェクトは、2012 年から開始されてきており、大きくはロジスティクスとエネルギーの2つより構成される。

● スマートポート・ロジスティクス (smartPORT logistics)

スマートポート・ロジスティクスは、交通フロー、インフラ、及び貨物フローという3つのサブセクターにおいて経済的とエコ的な面を統合する。海上、鉄道、道路交通に関わるマルチモードの港交通センターが交通フローの基礎的なネットワークを形成する。インテリジェントなネットワークが、ハンブルグ港の円滑で効率的な交通、ひいては貨物フローのために前提条件である。ロジスティクス管理者、運輸業者、エージェントが最も効率的な輸送手段を選択するために、最適なデータ収集と高速な情報共有が必要である。

- ・トラックのリアルタイム情報提供・誘導システム
- ・鉄道のインテリジェント・ポイント (センサーデータの伝送)
- ・船舶、車両等への移動体 GPS センサーの装着
- ・道路、橋等のインフラのスマートな維持管理
- ・空コンテナの移動を最適化するバーチャルデポ
- ・ポートモニター (Port Monitor、制御室のソフトウェア) による陸域・海域の最新情報の提供
- ・トラックのための駐車場誘導システムと駐車場の最適な利用

● スマートポート・エネルギー (smartPORT energy)

スマートポート・エネルギーは、在来手法による電力の依存を制限し、排出物を減少し、そして費用を節約する。持続可能なエネルギー、エネルギーの効率性、及びモビリティの3分野

に焦点をあてる。

- ・クルーズ船への持続可能なエネルギーによる電力供給
- ・旅客・貨物輸送のための E モビリティ（電気自動車）
- ・持続可能なエネルギーによる発電（風力、太陽光、バイオマス）

デジタル変革

smartPORT プロジェクトを IT や革新的技術によって支えるのがデジタル変革 (DX、Digital Transformation) である。生産的な情報の提供と信頼性の高いデータフローのためには、強靱な IT インフラと通信ネットワークが不可欠である。デジタル変革は、海運やロジスティクスで働くプレーヤーを連結するものであり、サプライチェーンを見える化することになる。HPA は 2016 年から Chief Digital Officer (CDO、最高デジタル責任者) を置いて進めてきた。smartPORT プロジェクトと重なる部分もあるが、DX プロジェクトを例示する。

- ・AR(Augmented Reality、拡張現実)と VR (Virtual Reality、仮想現実): 建設段階での AR/VR の利用
- ・BIM (Building Information Modelling) : 建物データの集中とデジタルツイン
- ・水中車両の自動運転: 水中検査や災害時支援のための水中ロボット
- ・スマートなポート交通モニター: 船舶交通、鉄道、道路交通、可動インフラの制御センターの統合と効率化
- ・スマートブリッジ: 橋梁構造のデジタル分析とデジタルツイン
- ・スマート駐車場と Green4TransPORT : 駐車スペースの検出、及びトラックと地上インフラ (信号機等) との通信
- ・ハンブルグ・トラックパイロット: 高速道路からハンブルグ港へのトラック自動運転

5G への問題点

デジタル変革のために必要となる次世代の移動通信は 5G と呼ばれる。ハンブルグ港は、交通ネットワークの複雑で密度の高い集積であり、水路、道路、118 の橋、300km の鉄道を含んでいる。HPA は、これら資産を効率よく管理し、モニターする必要がある。さらに、現在の通信ネットワークは 350km の光ファイバーからなり、海上通信、公共の LTE (3.9G)、事務所ビル内の Wi-Fi のために使用する無線技術の集合である。

公共の LTE の使用に関して言えば、例えば、交通信号は高い信頼性を要求するが、それは公共の多重サービス LTE ネットワークでは保証されない。また例えば、港が開港記念を祝う時、最大 100 万人の訪問者が公共スマホネットワークに負荷を与えることができるが、港業務の使用には容量がなくなり、相当な安全問題を惹起することになる。全ての交通信号を光ファイバーで接続することは費用の増大であり、実現可能な解とは言えない。

そこで、5G 移動ネットワークの中核であるネットワークスライシングが必要となり、それ

ら特定の応用のために通信をスライスに区切り、必要となるネットワークの質を保証するのである。5Gの3つの代表的なスライスといえば、以下の通りである。

- ・交通信号は、高度な信頼性が保証され、低い遅延が要求される
 - －URLLC、超高信頼・低遅延通信
- ・ホロレンズ(Hololens)が付いたAR/VR (Augmented Reality/Virtual Reality)は、港資産を管理する
 - －eMBB、超高速・大容量通信
- ・センサーが付いたバージは、同時通信を必要とする
 - －mMTC、大量端末接続

パートナーシップによる達成

ハンブルグ・ポートオーソリティ HPA、ドイツテレコム、ノキアは、パートナーを組んで、EU 財源の研究プロジェクト 5G-MoNArch(5G Mobile Network Architecture, 2017-2019)のテストベッドとしてハンブルグ港に5G コアネットワークを配置した。なお、EU の5G プロジェクトは、スマート港湾ハンブルグと観光都市トリノの2か所を指定し実施された。ハンブルグ港での技術上の目標は、ネットワークスライシングの使用である。2つのノキアエアスケール(Nokia Airscale) 基地局が1つのアンテナで配置された。アンテナは、港地域をカバーできるように、ハンブルグテレビ塔の地上180mに設置された。これらの基地局は、港から3kmにあるドイツテレコムのローカルデータセンター、及びヌレンベルグ(Nuremberg)の内陸500km離れた地域データセンターに接続された。低遅延を要求するスライスはローカルデータセンターに配置し、あまり低遅延を要求しない高性能なスライスは地域データセンターに配置された。この5Gテストベッドによって、20ミリ秒以下の低遅延が達成された。

もう一つの重要な学習は、同時通信(dual-connectivity)の特性である。これは1つのユーザーミナルが2つの異なる基地局に同時に接続するものである。データパッケージがコピーされて、それぞれの基地局がコピーを受け取り、遅延を減少させる。同時通信のエッジにおいて、10ミリ秒以下の低遅延を達成した。

5G-MoNArchのテストベッドは、5Gネットワーク、特にネットワークスライシングの大きな可能性を与えるものであり、デジタル化のブレイクスルーを推進するものと信じる。

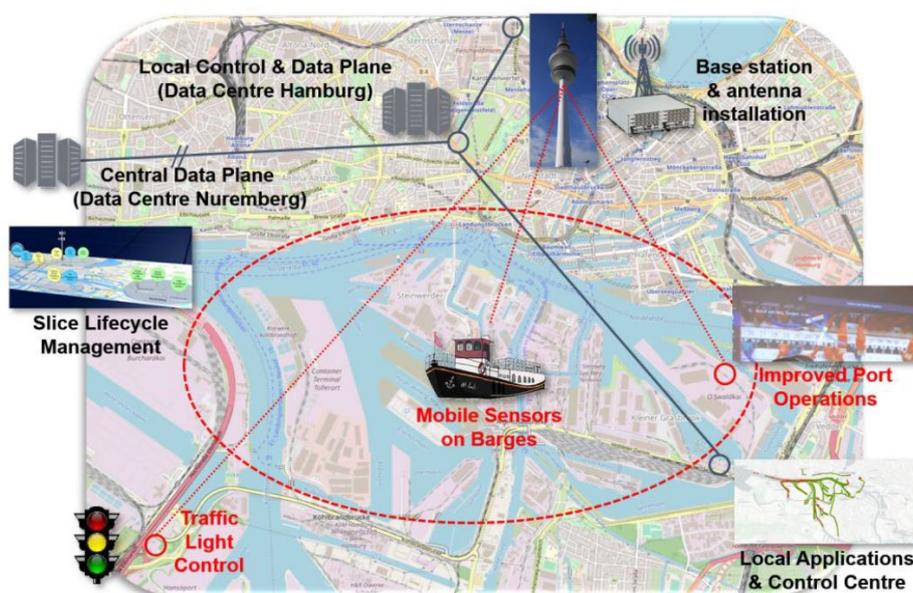


図2. 5G-MoNArchハンブルグ・スマートポートのテストベッド

URLLC (Ultra-reliable and low latency communications)、超高信頼・低遅延通信

交通信号は、高度な信頼性を必要とし、現在は光ファイバーでのみ可能である。目標は、HPA コントロールセンターから交通信号を遠隔で操作しモニターすることによって、港内を移動する道路交通を管理することである。例えば、トラックは現場において速く安全に操作される。テストベッドで、交通信号は同時信号の特性を利用し、両方の5G基地局（マスターとセカンダリー）に同時に接続し、期待される高度の冗長性と性能を達成することができる。

交通信号制御はさらにネットワークスライスの区分を実現する。最善スライス（共通スライス）と、高度の信頼性と遅延条件を持つ特別スライスとの間の遅延の違いによって区分されるのであり、ローカルな交通信号制御器は常に低遅延が保証された状態となる。

eMBB (Enhanced mobile broadband)、超高速・大容量通信

HPA は、ハンブルグ港の大規模性と責任において、海側と陸側の資産を維持、修理、建設する業務を担当する約100人の技術チームに依存している。これらの技術チームを支援するための目標は、ARとVRを使用し、ブループリントや建設プランの最新情報が現地ビルで利用可能であり、新プロジェクトのためのトンネル、橋、水門の情報やモデリングが3Dで「デジタルツイン」として利用できるようにすることである。

これらの技術者は、ARホロレンズで装備されて、現地のプロジェクトがどう見えるのかを観察でき、費用増につながる障害や不合理が存在しないことを確認できる。3Dデータは多くの処理能力を必要とするので、これは現在の4Gでは屋外で出来ないことである。

eMBB の別の応用は、現場の技術チームを専門家が遠隔で支援することである。港地域に設置されている鉄道の多くのスイッチはかなり旧式であり、少ない技術者しか操作の詳細や修理方法を知らない。それら貴重な専門家を現場に物理的に派遣する代わりに（往復の移動に1時間はかかる）、本部からARとライブビデオの応用によって、ホロレンズを装着した現場の技術者を指導できる。

mMTC (Massive machine type communication)、大量端末接続通信

HPA が所有し運転している複数のバージは、既に環境センサーが装備され、船の排出ガス状況を知るためにCO₂ その他ガスのレベルを測定している。港地域内の固定と移動体の資産にはIoTセンサーが装備されている。例えば、橋、交通信号、鉄道スイッチ、ロックや水門であり、またビーコン、ブイ、灯台などの海上操船に関わる資産も含まれる。これらセンサーは連続的にデータを収集し、資産の状態と働きをモニターし、予防的な維持管理を将来に可能とするのである。これらのセンサー全てがHPAの管理センターと接続されている必要があり、その数は2025年までに益々増加する。HPAは港地域で100,000個以上のセンサーが接続されると予測する。

交通信号のユースケースについて、光ファイバーでこれらセンサーを接続することは高額な費用がかかり、むしろ不可能である。5GのIoTデバイスは、セル当たり何万というデバイスを支持するために狭いバンド幅を使い、難しい位置であってもカバーし、蓄電池の寿命は10年以上であり、これらすべて低価格のパッケージである。センサーが収集した全ての「ビッグデータ」は、中央モニター装置に信頼性高く安全に転送され、将来のAIプロセスに入力し分析するためにデータ貯蔵装置に蓄えられる。

センサーデータを転送するために専用のスライスを設置することに加えて、テストベッドでは同時通信(dual-connectivity)の特性が披露された。同時通信において、ターミナル(センサー)は2つの異なる基地局に同時に接続される。データパケットは二重にコピーされ、各基地局がコピーを受け取る。それはハンドオーバー(業務引き継ぎ)のときに再度伝送する必要性を減少させ、伝送全体の信頼性を大いに増加させる。特に、移動するバージのように移動体ターミナルを伴うシナリオに効果的である。

HPAが接続センサーを必要とするだけでなく、近代的な船舶やコンテナには何千というセンサーが装着される。船会社と貨物ターミナルオペレーターも、これらの新しい必要条件を扱えるだけに頑強で十分に信頼できる通信インフラを要求してくる。

まとめ

ノキア、ドイツテレコム、HPA間の5Gパートナーシップは、最も複雑な産業環境をデジタ

ル変革することを可能にし、5Gによる無限の可能性を示す主要な事例である。テストベッドの結果が示すように、様々な戦略的なユースケースを支援するためにはネットワークスライシングが必要である。結果として、エッジコンピューティングは遅延を5ミリ秒レベルに維持することが実証され、また同時通信が遅延の変動を減少させるために使用された。

ハンブルグ港において、eMBB、URLLC、mMTCによって可能となったユースケースは始まりにすぎない。今後まだ予測できていないたくさんの応用が実現するであろうと期待されている。

参考文献

Hamburg Port Authority, Taking Action Creating Values, 2017/2018 sustainability report of the Port of Hamburg.

https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user_upload/191217_HPA_NHB_2017_2018_gesamtBericht_EN.pdf

Hamburg Port Authority, SMARTPORT = THE INTELLIGENT PORT.

<https://www.hamburg-port-authority.de/de/hpa-360/smartport>

Nokia, 5G Smart Sea Port, Hamburg Port Authority, 2019.

https://telent.com/assets/uploads/docs/Hamburg_port_casestudy.pdf

EU, 5G-MoNArch Project Summary, 2019

<https://5g-monarch.eu/deliverables/>

(株)NTTドコモ、ネットワークスライシングの標準化状況および弊社ネットワークにおけるサービス提供形態、1999.

https://www.soumu.go.jp/main_content/000633423.pdf