5G Prototyping

試作により5Gが「概念」から「現実」に

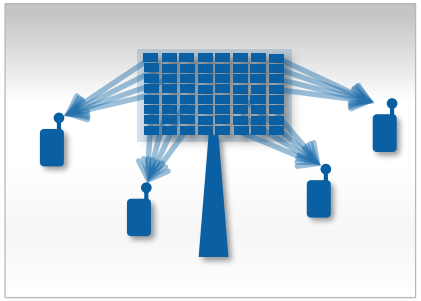
日本ナショナルインスツルメンツ株式会社
marketingjapan@ni.com

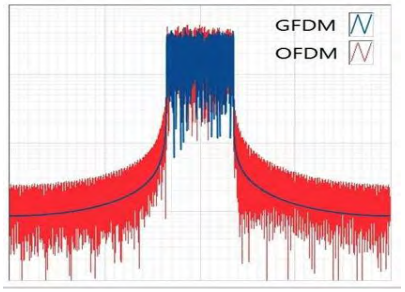
NATIONAL INSTRUMENTS™

アジェンダ

イントロダクション

- NIが考える5G実現のカギとなる主要技術





- 5Gの実現に対するプロトタイピングの重要性

NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

数多くのユーザ事例

Massive MIMO

- ルンド大学
- ブリストル大学
- Intel
- Samsung
- ルーヴェン・カトリック大学

ミリ波伝送

- Nokia
- NTTドコモ
- ニューヨーク大学
- MiWaveS (欧州FP7)

高度な物理層信号処理

- ドレスデン工科大学
- NTTドコモ
- アルカテルルーセント
- InterDigital
- テキサスA&M大学

高度なネットワークアーキテクチャ

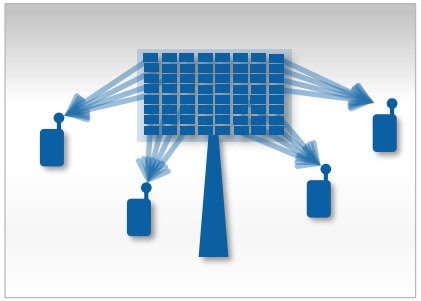
- Nokia
- CROWD(欧州FP7)

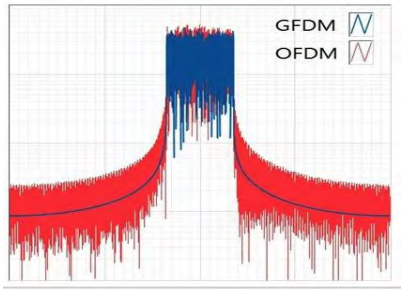
NATIONAL INSTRUMENTS™

アジェンダ

イントロダクション

- NIが考える5G実現のカギとなる主要技術

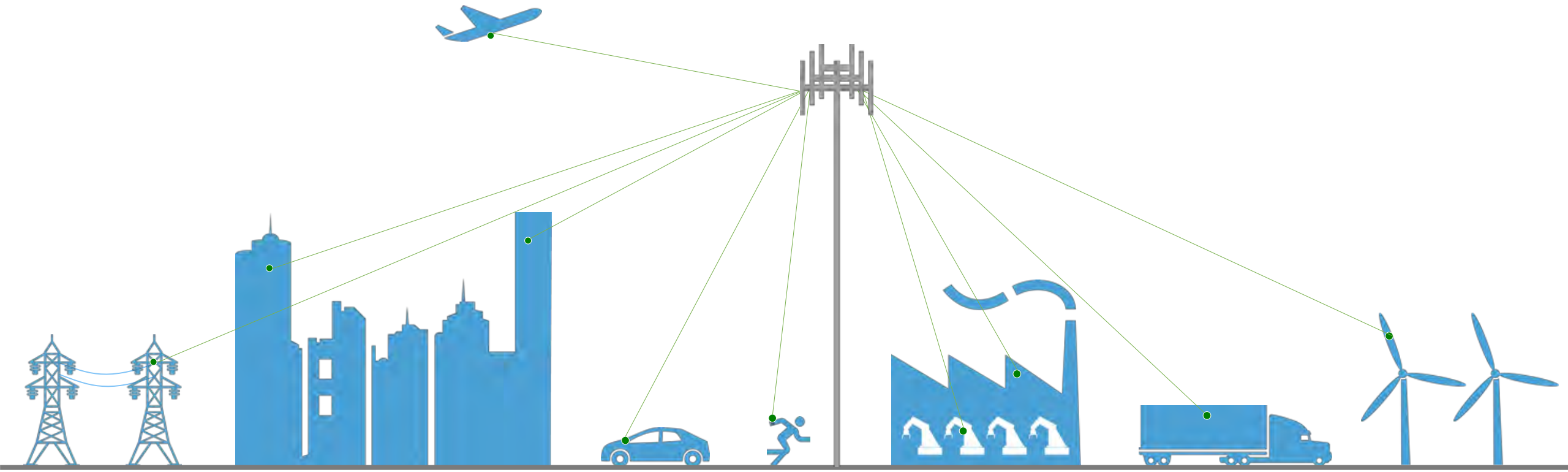




- 5Gの実現に対するプロトタイピングの重要性

NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

あらゆるモノがつながる時代へ



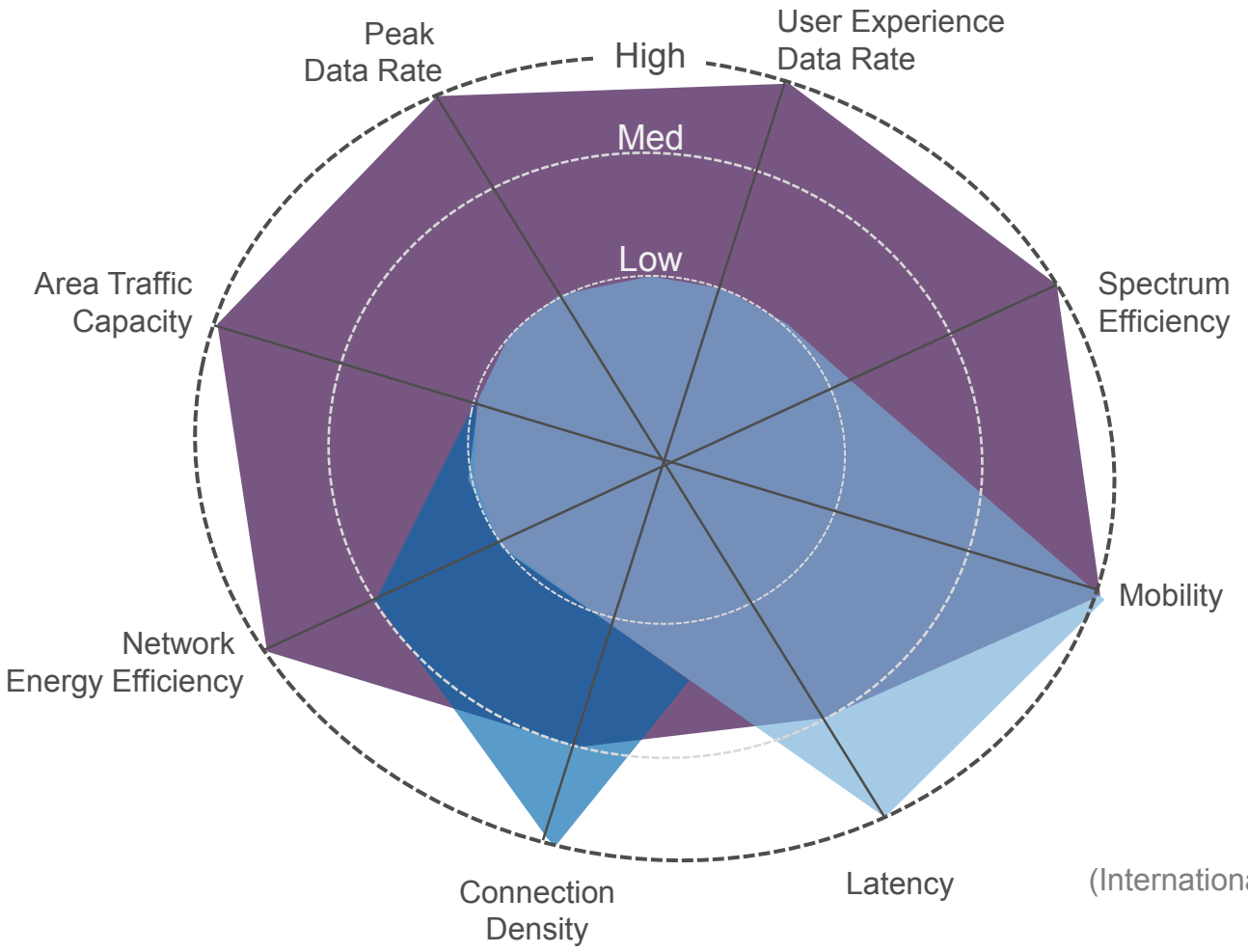
データレート　消費電力　セキュリティ

ネットワークキャパシティ　高信頼　共存

NATIONAL INSTRUMENTS™

ITU-Rが描く「IMT-2020以降のビジョン」

3つのユースケース



- Enhanced Mobile Broadband (eMBB)
- Ultra-Reliable Machine-Type Communication (uMTC)
  または Ultra-Reliable Low-Latency (UR/LL)
- Massive Machine Type Communication (mMTC)

出典: ITU-R 勧告 M.2083-04
ITU-R: 国際電気通信連合 無線通信部門
(International Telecommunication Union Radiocommunication Sector)

5Gの実現には技術的なブレークスルーが不可欠

5Gに要求されるネットワーク性能

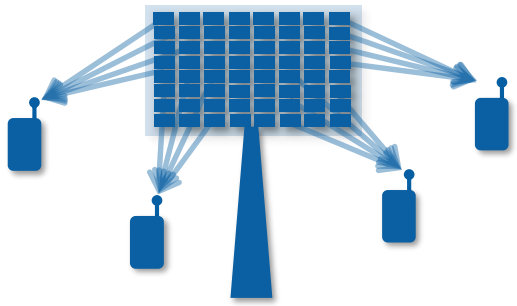
パラメータ	目標	LTE-Advancedとの比較
ピークデータレート (Peak Data Rate)	20 Gbit/s	20倍
平均データレート (User Experienced Data Rate)	100 Mbit/s	10倍
トラヒック密度 (Area Traffic Capacity)	10 Mbit/s/m^2	100倍
周波数スペクトル効率 (Spectrum Efficiency)	LTE-Advancedの3倍	
モビリティ (Mobility)	500 km/h	1.4倍
エネルギー効率 (Network Energy Efficiency)	LTE-Advancedの100倍	
コネクション密度 (Connection Density)	1,000,000 デバイス/km^2	10倍
遅延 (Latency)	1 ms	10分の1

出典: ITU-R 勧告 M.2083-03

5G実現のカギとなる主要技術

大規模 (Massive) MIMO

基地局に数十・数百のアンテナを配備してより綿密・高密度な空間多元接続を実現

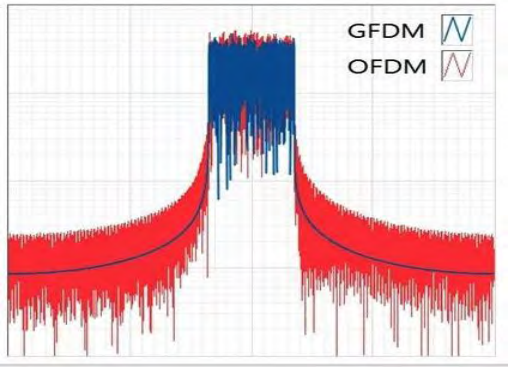


ミリ波伝送

広大な周波数リソースを湛えるミリ波帯を移動体通信ネットワークに活用

高度な物理層信号処理

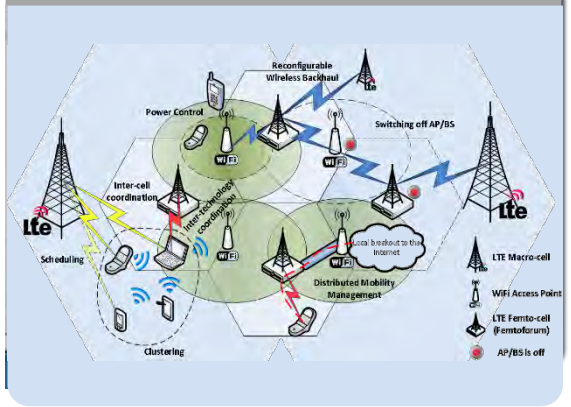
シャノン限界に漸近すべくさらなる周波数利用効率の向上を追求



高度なネットワークアーキテクチャ

「いついかなる状況でも繋がる」接続性と大容量ネットワークを実現

- 高密度化
- ネットワーク仮想化
- アンライセンスバンドの活用



NATIONAL INSTRUMENTS

アルゴリズム研究にはプロトタイピングが欠かせない

「我々の経験から、理論的な研究で導き出された仮定が実世界で覆されることは少なくありません。そのため現実的な動作環境で評価する必要があり、テストベッドは重要なツールとなります。

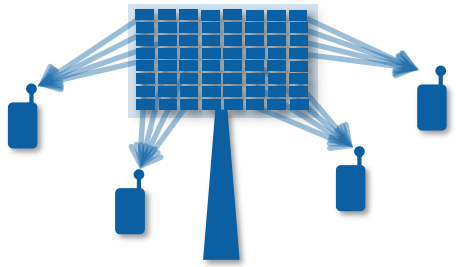
…実際の完全なシステムで新しいアイデアをテストできるテストベッドの開発が極めて重要です。」

アメリカ国立科学財団 (National Science Foundation, NSF)
Workshop on Future Wireless Communication Research

NIによる5G研究への取り組み

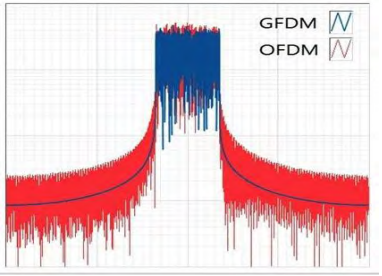
プラットフォームベースの開発手法で生産性向上に寄与

Massive MIMO

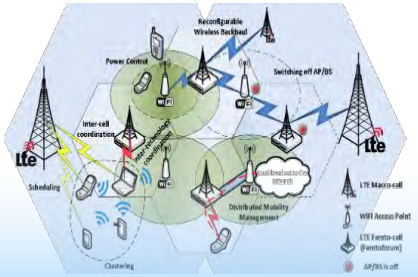


ミリ波伝送

高度な物理層信号処理



高度なネットワークアーキテクチャ



NATIONAL INSTRUMENTS LabVIEW™

PC

PXIシステム

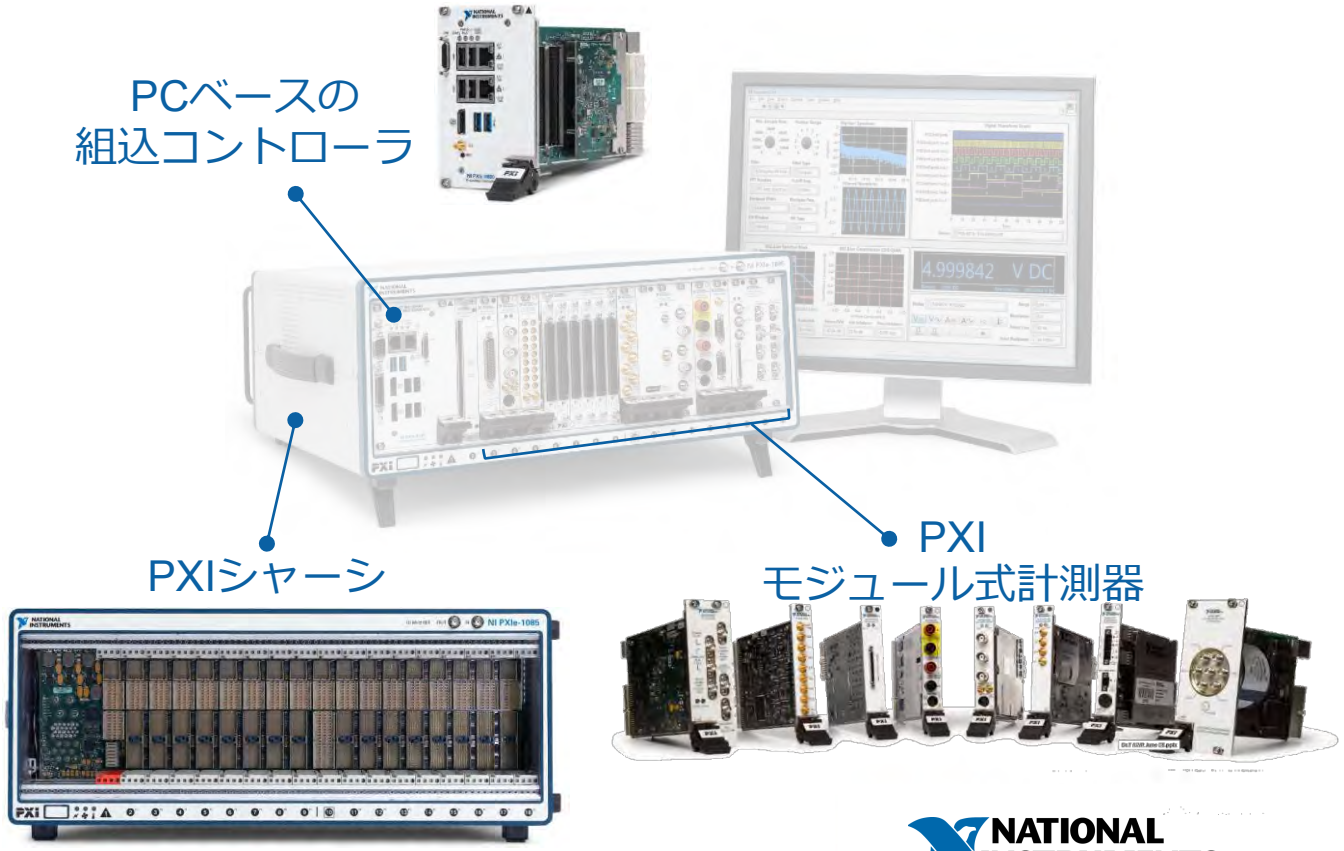
USRP ソフトウェア無線機

NI PXIシステム

従来型の計測器 (箱形) vs. PXIモジュール式計測器

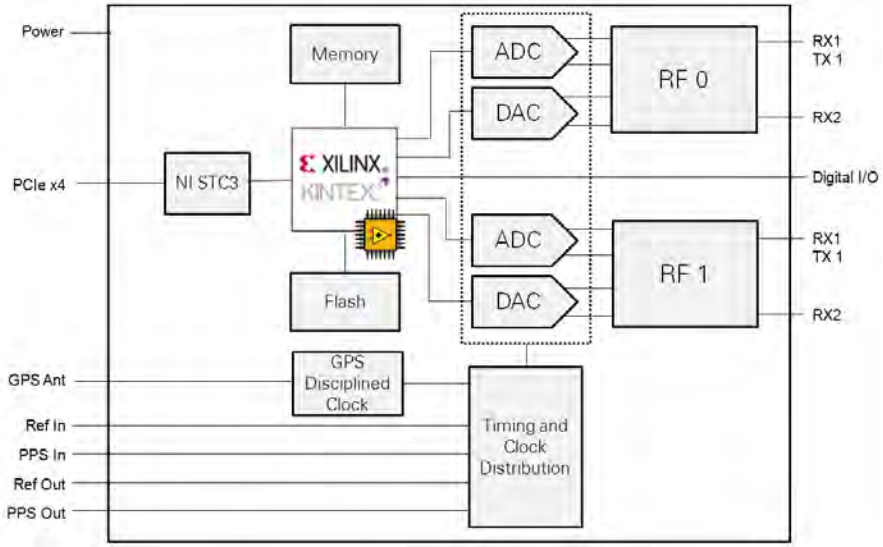
NI PXIシステム

従来型の計測器 (箱形) vs. PXIモジュール式計測器



USRP ソフトウェア無線機

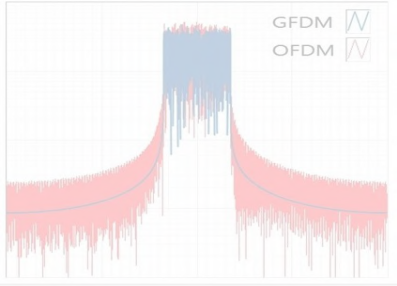
- 2つのRF送受信ユニットと
  Xilinx Kintex 7 FPGAが1台に
- 帯域幅: 最大160 MHz
- FPGAはオープンで自由にプログラム可能
- 1台だけで2 x 2 MIMO単方向伝送に対応
- モデル毎に異なる周波数帯に対応
  - USRP-2940R : 50 MHz to 2.2 GHz
  - USRP-2942R : 400 MHz to 4.4 GHz
  - USRP-2943R : 1.2 GHz to 6 GHz
  - **USRP-2944R : 10 MHz to 6 GHz** New
- ケーブル経由のPCI Express x4接続によってホストPCとの間で830 Mbyte/sのデジタルベースバンドデータのやり取りが可能



アジェンダ

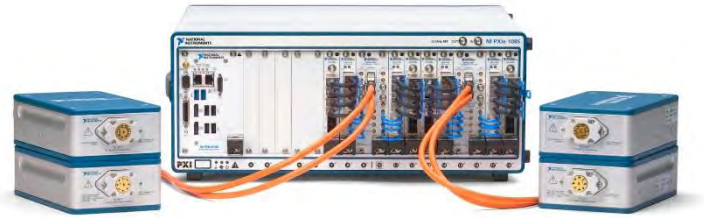
イントロダクション

- NIが考える5G実現のカギとなる主要技術



- 5Gの実現に対するプロトタイピングの重要性

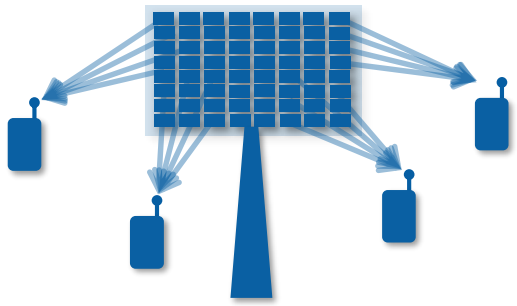
NIのプロトタイピングソリューションと活用事例



NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

大規模 (Massive) MIMO

基地局に数十・数百のアンテナを配備してより綿密・高密度な空間多元接続を実現

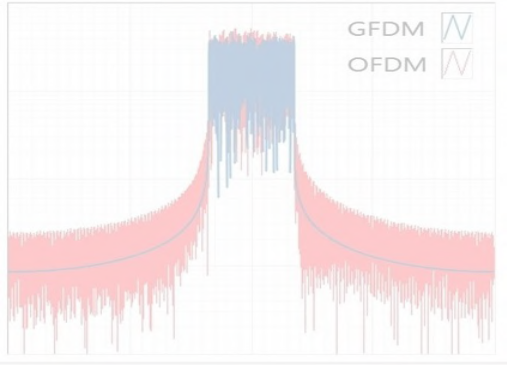


ミリ波伝送

広大な周波数リソースを湛えるミリ波帯を移動体通信ネットワークに活用

高度な物理層信号処理

シャノン限界に漸近すべくさらなる周波数利用効率の向上を追求



高度なネットワークアーキテクチャ

「いついかなる状況でも繋がる」接続性と大容量ネットワークを実現

- 高密度化
- ネットワーク仮想化
- アンライセンスバンドの活用

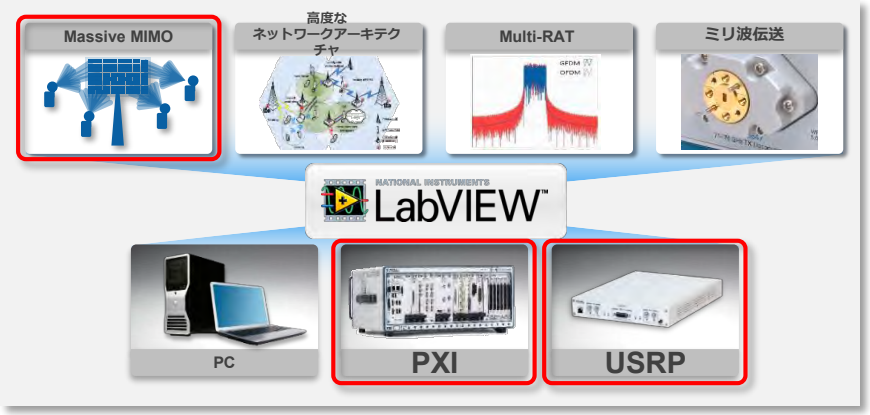
NATIONAL INSTRUMENTS™

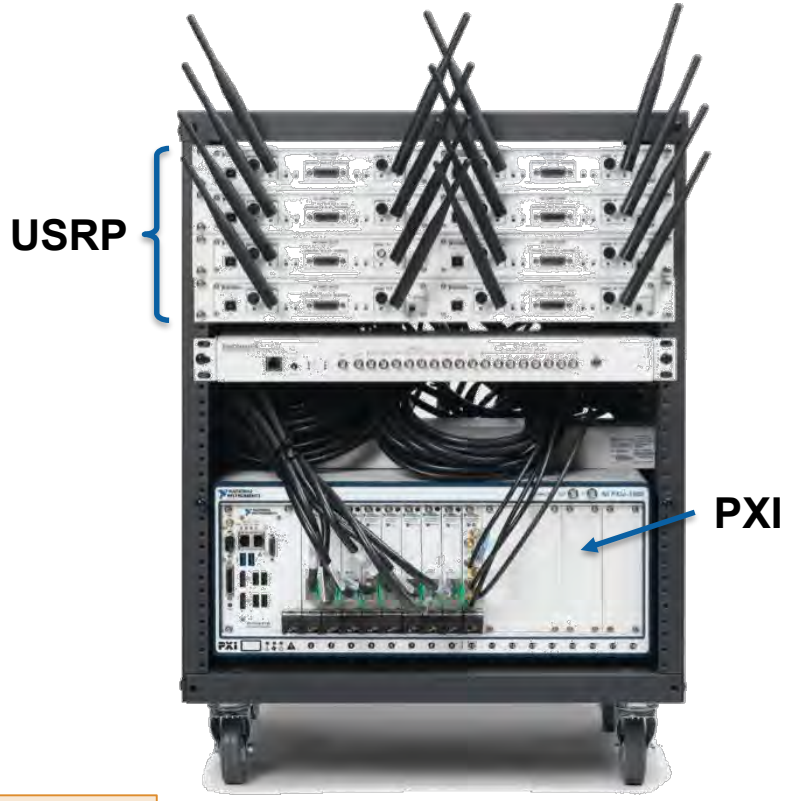
世界初のMassive MIMOプロトタイピングシステム

NIのPXIシステムとUSRPのシナジーによって
構成自由度が限りなく高いMassive MIMOプロトタイピングシステムが誕生

主な特長

- FPGAを駆使して独自のアルゴリズムをリアルタイム処理
  - 処理内容に応じてFPGAの数を柔軟に変更可能
- オープンソースのソフトウェアリファレンスデザイン
  - OFDM
  - ZF/MMSE MIMO検出
  - 最大比送信プリコーディング
  - TD-LTEライクなフレーム構成



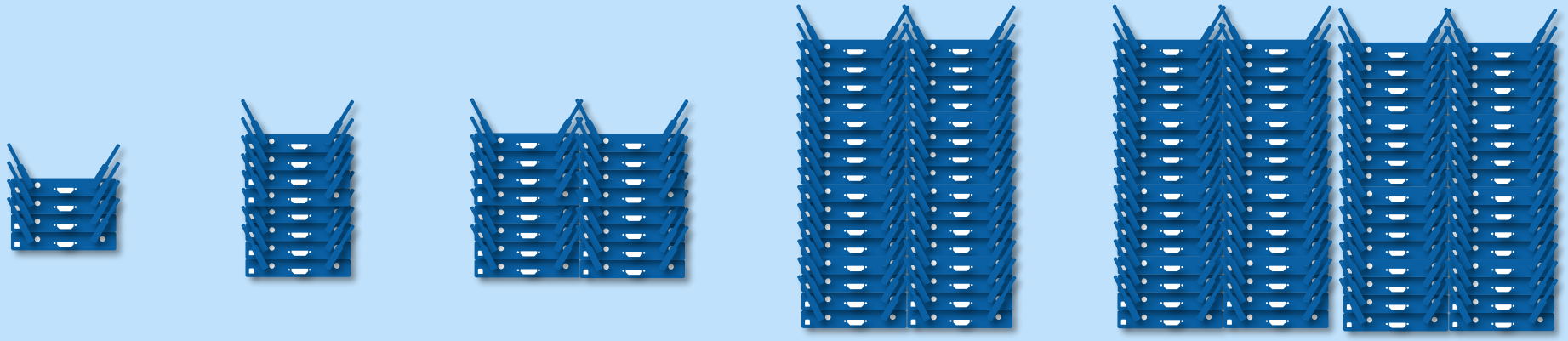


16アンテナの基地局の構成例

動作の一例は下の動画からご確認いただけます
#Globecom: National Instruments Massive MIMO real-time prototyping system - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=z7a-IcPSslo (YouTubeにアクセス)

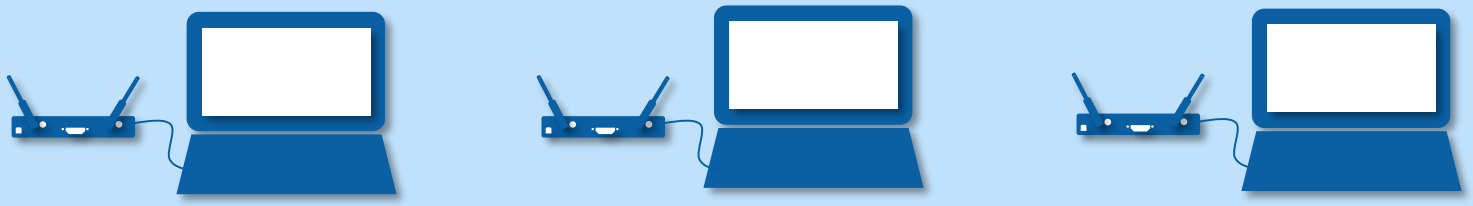
高いスケーラビリティ

基地局



アンテナ数　8　16　32　64　128

ユーザ端末

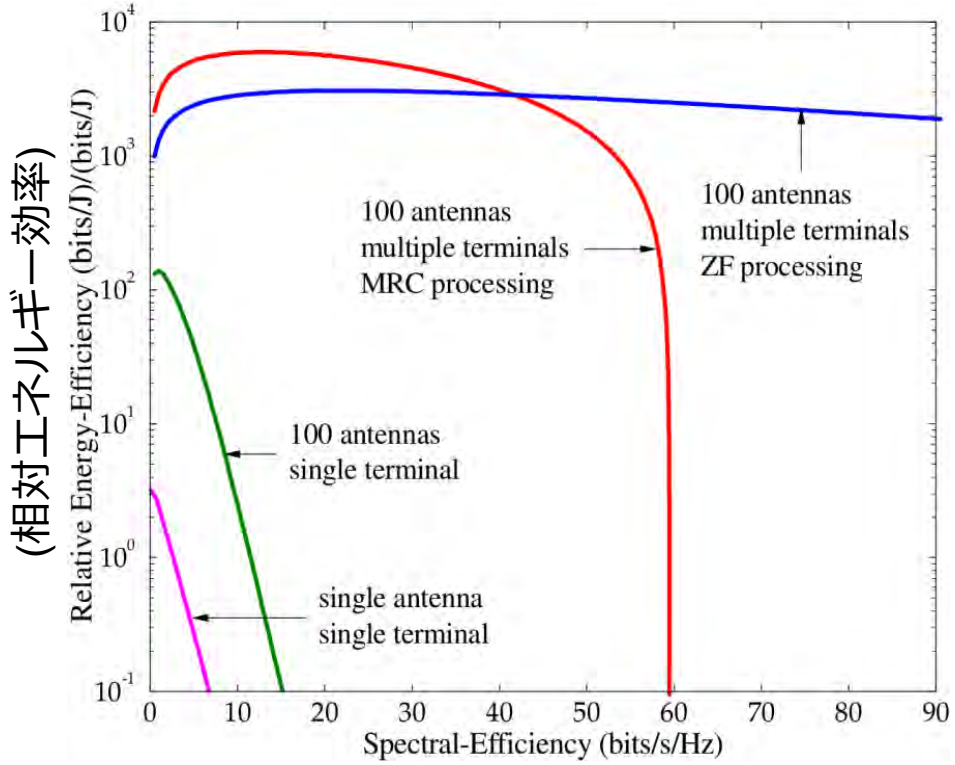


1アンテナのユーザを最大12台収容可

NATIONAL INSTRUMENTS™

ルンド大学が実現したMassive MIMO伝送システム

先の研究で導かれた理論を実世界で検証



出展: Larsson, E. ; Edfors, O. ; Tufvesson, F. ; Marzetta, T., “Massive MIMO for next generation wireless systems”, IEEE Communications Magazine, Vol. 52 , Issue 2, 2014

100アンテナの基地局装置
独自のパッチアンテナアレイを活用

LUND UNIVERSITY

Ove Edfors 教授

Fredrik Tufvesson 教授

Fredrik Tufvesson 教授がNIを選んだ理由は下の動画からもご確認いただけます
Fredrik Tufvesson on Communication with Massive MIMO Part 2 - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=mWQuyWFTA_M (YouTubeにアクセス)

NATIONAL INSTRUMENTS

20 MHz帯域幅で1.5 Gbit/sを達成したブリストル大学

- 基地局アンテナ数128、10ユーザ存在下で
  上りリンクシステムスループット1.5 Gbit/sを達成
- 周波数利用効率の世界記録79.4 bit/s/Hzを樹立

University of BRISTOL

Mark Beach 教授

Paul Harris 氏

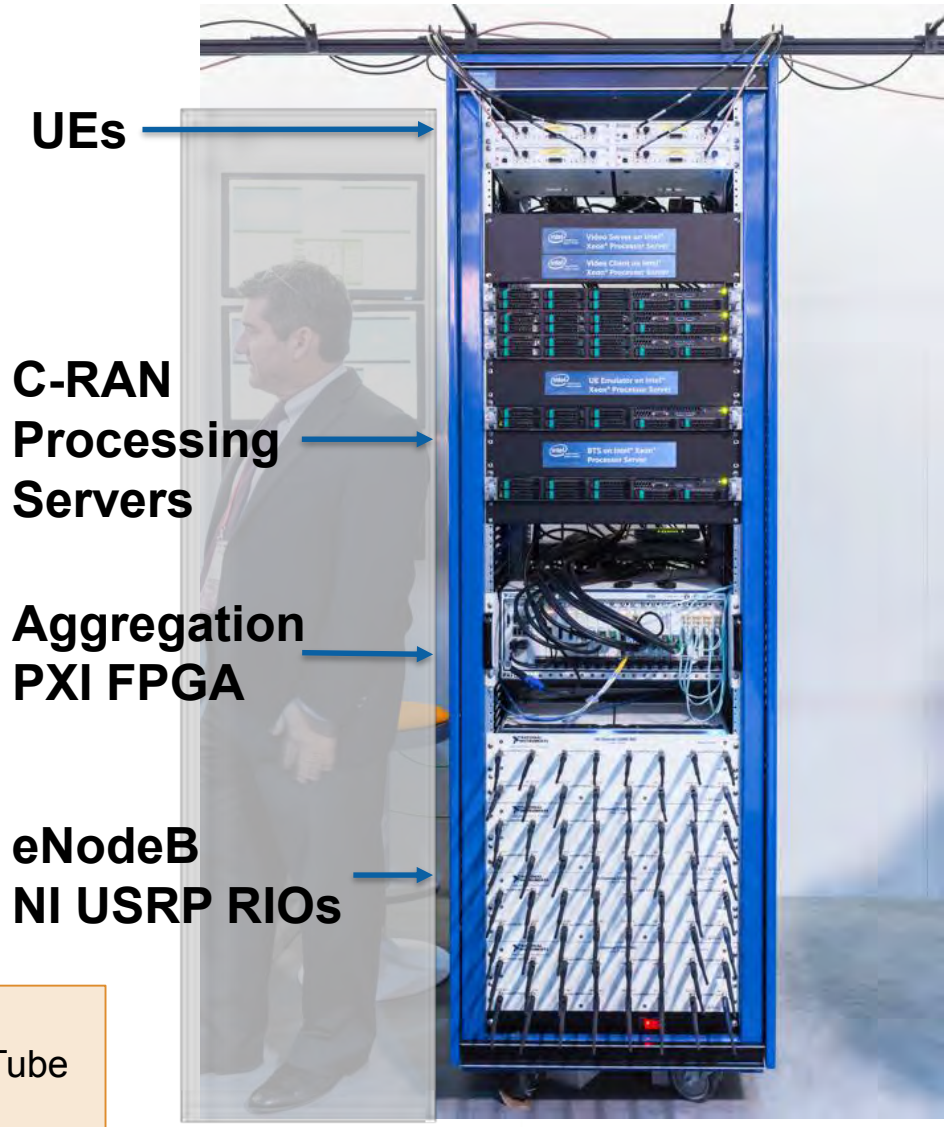
ブリストル大学の事例紹介は下の動画からもご確認いただけます
Bristol Is Open 5G Massive MIMO - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=pucUF9IsL1M (YouTubeにアクセス)

NATIONAL INSTRUMENTS

Intel社のC-RAN Massive MIMOシステムのプロトタイピング

Intel社が開発した集中型無線アクセス
ネットワーク (C-RAN) サーバの評価に
NIのプラットフォームを活用

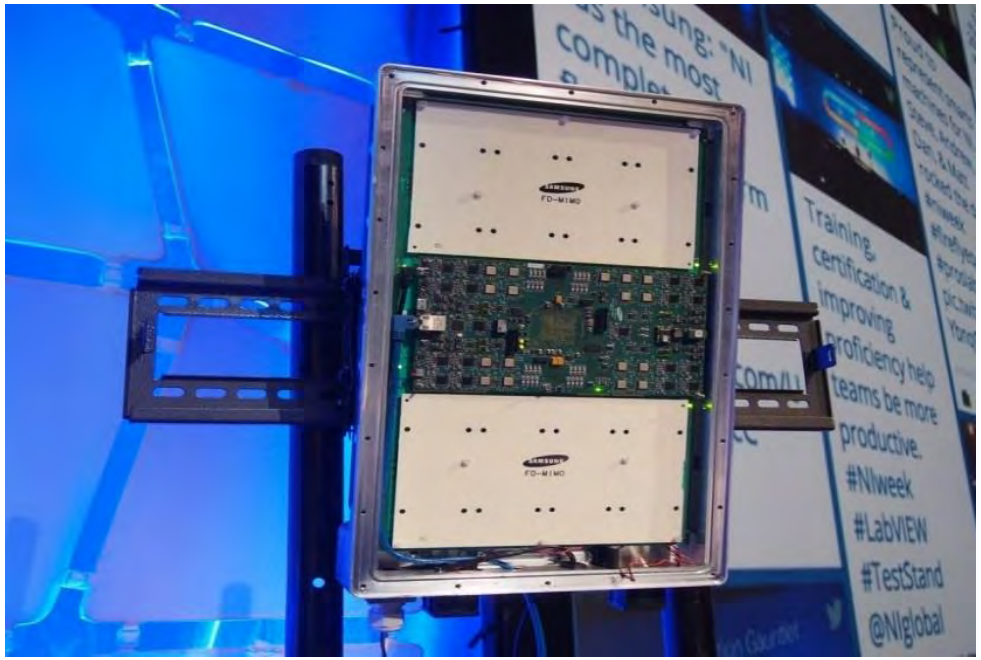
- 64アンテナ
- ベースバンド処理はC-RANサーバで行いつつ
  一部をNIのハードウェアのFPGAにオフロード
- スペイン・バルセロナで開催のMWC 2016にて展示



Intel社の事例紹介は下の動画からもご確認いただけます
How will Massive MIMO Improve 5G Data Transfers? Intel Explains - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=k3ZqaxikXdk (YouTubeにアクセス)

NIとSamsung社によるFull Dimension MIMO (FD-MIMO)

NIWeek 2015 (NIのプライベート展示会) にて実演
LabVIEW Communications LTE Application Frameworkを活用



「Samsungは、世界初のリアルタイムFD-MIMOの実証実験に成功しました。
これにより、5Gの標準化における存在感がさらに高まったといえるでしょう。」

出典: english.etnews.comでの報道 (英文)

NIWeek 2015におけるSamsung社の実演は下の動画からもご確認いただけます
NIWeek 2015-Samsung - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=t-q0ZG1akHA (YouTubeにアクセス)

NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

大規模 (Massive) MIMO

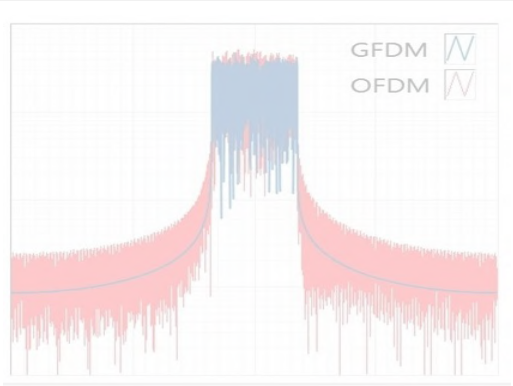
基地局に数十・数百のアンテナを配備してより綿密・高密度な空間多元接続を実現

ミリ波伝送

広大な周波数リソースを湛えるミリ波帯を移動体通信ネットワークに活用

高度な物理層信号処理

シャノン限界に漸近すべくさらなる周波数利用効率の向上を追求



高度なネットワークアーキテクチャ

「いついかなる状況でも繋がる」接続性と大容量ネットワークを実現

- 高密度化
- ネットワーク仮想化
- アンライセンスバンドの活用

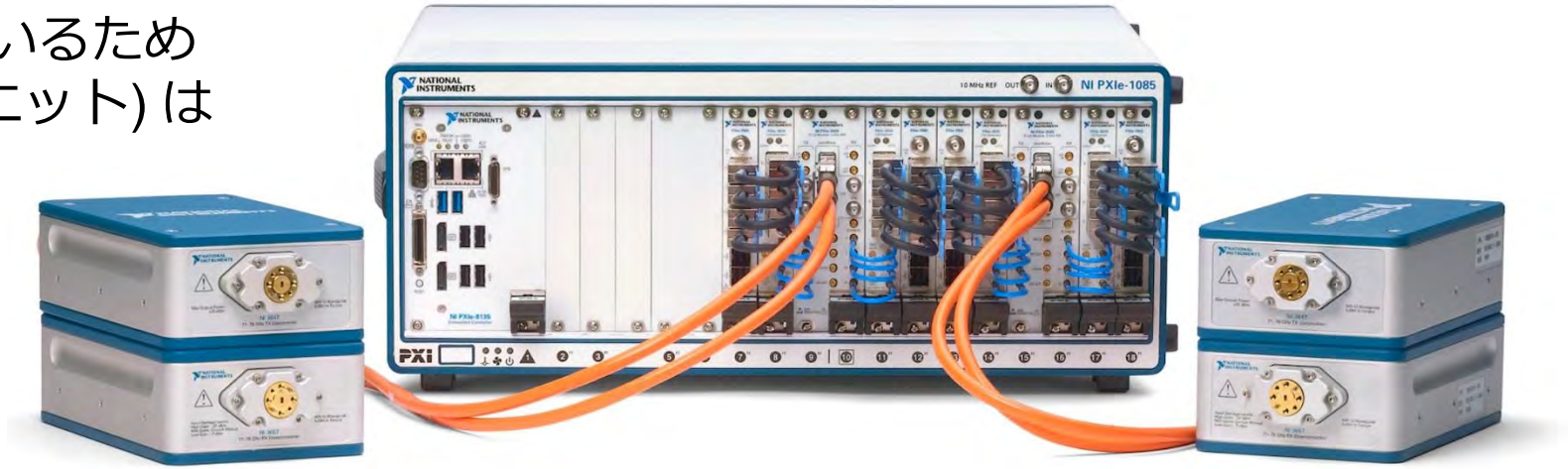
NATIONAL INSTRUMENTS™

世界初のミリ波伝送プロトタイピングシステム

71 – 76 GHz (標準構成) に対応し帯域幅2 GHzを誇るミリ波トランシーバシステム
独自のレディオヘッドを用いて任意の周波数帯に対応可能
ニーズに応じて単方向/双方向、SISO/2 x 2 MIMOと柔軟な構成が可能

主な特長

- FPGAを駆使して独自のアルゴリズムをリアルタイム処理
  - 処理内容に応じてFPGAの数を柔軟に変更可能
- IFとRFはモジュール化されているため
  レディオヘッド (RF送受信ユニット) は
  独自のハードウェアを使用可
- リアルタイム双方向通信に
  対応



NATIONAL INSTRUMENTS™

Nokia社が5G向けミリ波の開発にNIのプラットフォームを活用

NOKIA

「試作には1年を要しました。ただ、NI以外のツールを使う
シナリオの試算の半分未満で済んだのです。」

Amitava Ghosh 博士、 Head of Broadband Wireless Innovation, Nokia Networks

ミリ波伝送に関するNokia社の取り組みは下の動画からもご確認いただけます

Nokia and NTT DOCOMO 5G Collaboration | Nokia

http://networks.nokia.com/videos/ntt-docomo-5g-collaboration (Nokia社のWebサイトにアクセス)

NATIONAL INSTRUMENTS

Nokia社のプロトタイプの進化の過程

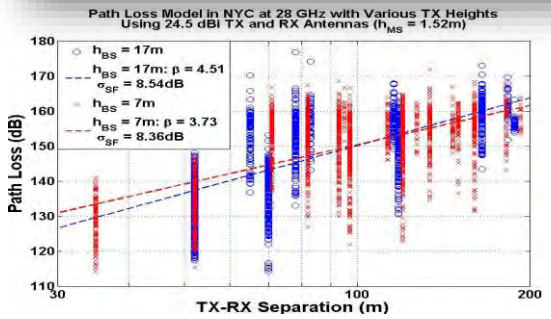
	Brooklyn 5G Summit 2014	NIWeek 2015	MWC 2016
周波数帯	73 GHz	73 GHz	73 GHz
帯域幅	1 GHz	2 GHz	2 GHz
ストリーム数	1 x 1	2 x 2	2 x 2
変調方式	16 QAM	16 QAM	64 QAM
ピークレート	**2.3 Gbit/s**	**>10 Gbit/s**	**>14.5 Gbit/s**

MWC 2016でのNTTドコモ社のミリ波伝送システムの実演

- ビームトラッキングによるモビリティの確保
- 73 GHz帯を使用
- 帯域幅1 GHzでピークレート2.3 Gbit/sを達成

NYU Wirelessによるミリ波チャネルの特性評価

- 28, 38, 72 GHz帯のチャネルサウンディングを実施
- NI FlexRIO・LabVIEWを用いたシステム構築



チャネルサウンディングに関するNYU Wirelessの取り組みは下の動画からもご確認いただけます
NYU WIRELESS, Summer 2013: 73 GHz Ultra-Wideband Propagation Measurement Campaign in New York City - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=dzkzjg2-OM8 (YouTubeにアクセス)

NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

大規模 (Massive) MIMO

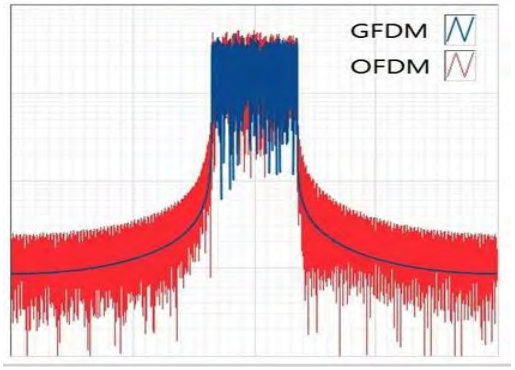
基地局に数十・数百のアンテナを配備してより綿密・高密度な空間多元接続を実現

ミリ波伝送

広大な周波数リソースを湛えるミリ波帯を移動体通信ネットワークに活用

高度な物理層信号処理

シャノン限界に漸近すべくさらなる周波数利用効率の向上を追求



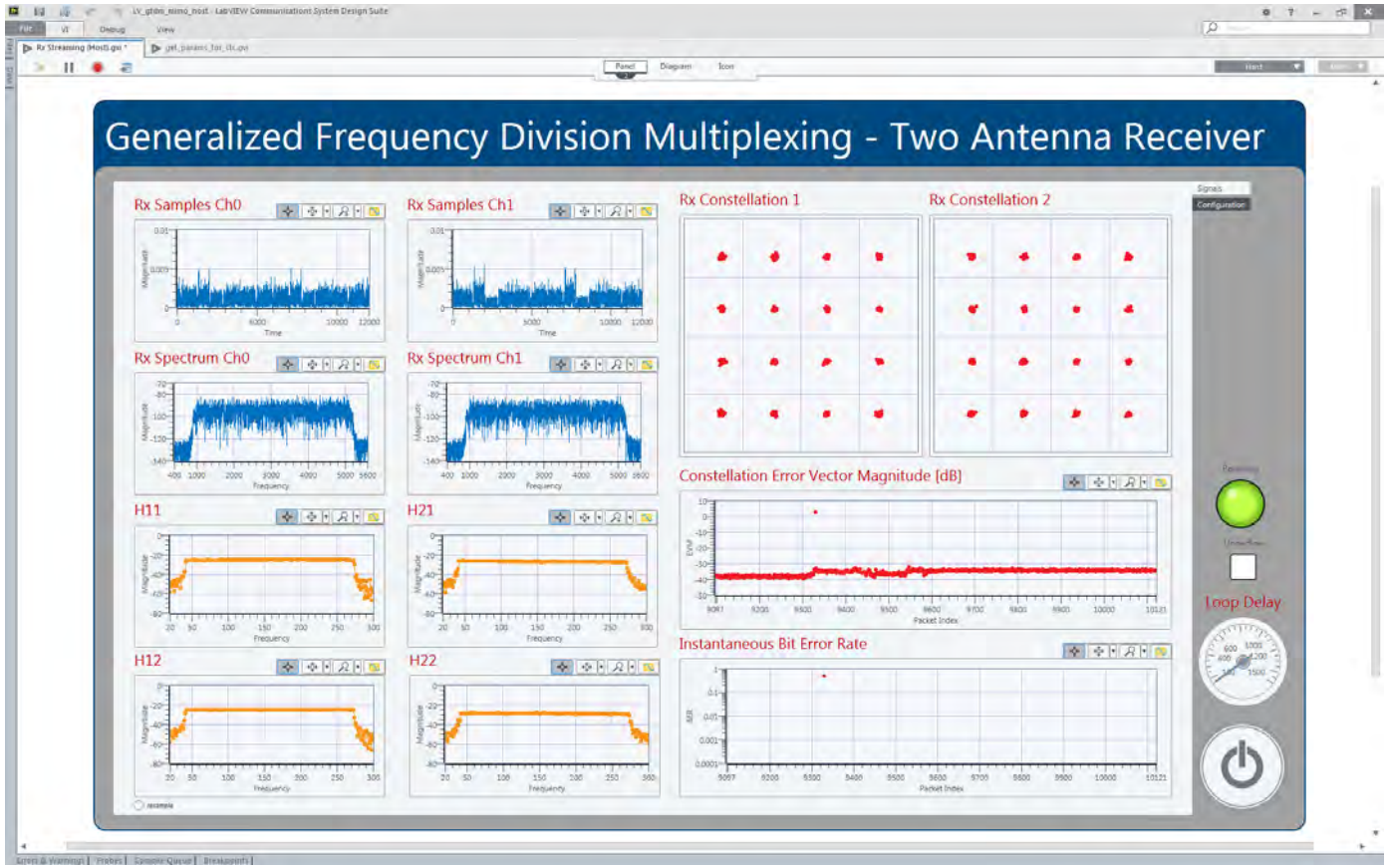
高度なネットワークアーキテクチャ

「いついかなる状況でも繋がる」接続性と大容量ネットワークを実現

- 高密度化
- ネットワーク仮想化
- アンライセンスバンドの活用

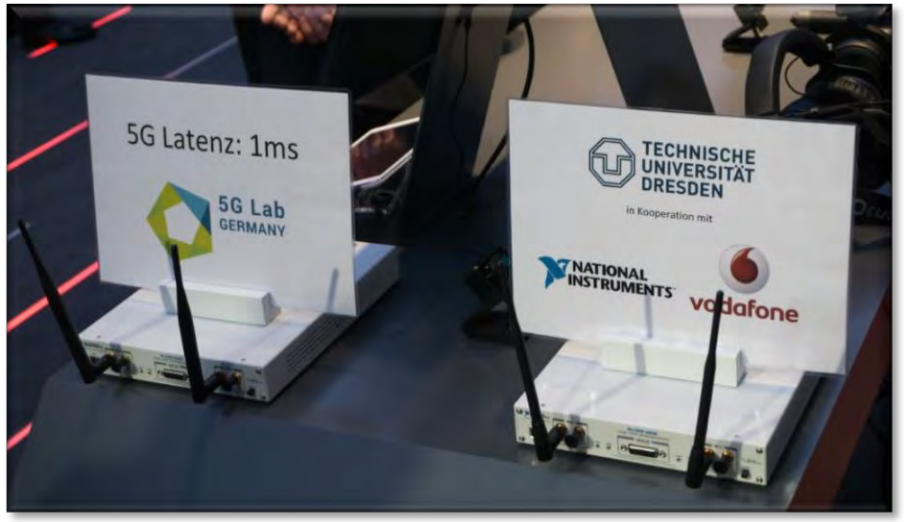
NATIONAL INSTRUMENTS

LabVIEW Communicationsを用いた2 x 2 GFDM伝送実証



Gerhard Fettweis 博士

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN



LabVIEW Communicationsを用いたGFDM伝送の一例は下の動画からもご確認いただけます
#GLOBECOM: National Instrument GFDM Demo - YouTube
https://www.youtube.com/watch?v=3mFztp5kiVU (YouTubeにアクセス)

NATIONAL INSTRUMENTS

NTTドコモ社の実証実験にNIテクノロジが採用される

非直交多元接続

(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)

チャネル利得の差異が大きい
ユーザ同士を電力ドメインで多重
シグナリングオーバヘッドの削減

「5Gの実用化に向け、NOMAや高周波数帯を活用した要素技術等の研究で世界をリードしている当社は、NIの現在利用可能な最先端の5G無線ラピッドプロトタイピング用実験システムを採用することで、その動作および性能をいち早く明らかにすることができると期待しています。」

NTTドコモ 5G推進室 中村 武宏 氏

http://www.ni.com/newsroom/release/ni-supports-docomo-to-test-5g-wireless-communications/ja-jp/

NIのプロトタイピングソリューションと活用事例

大規模 (Massive) MIMO

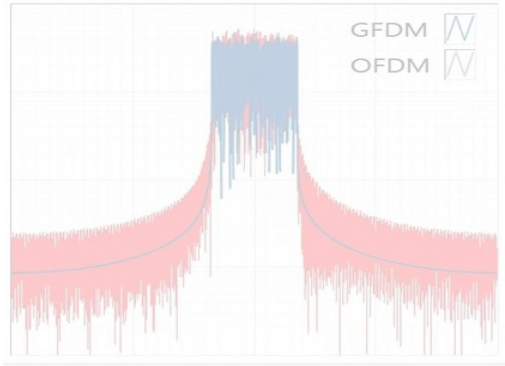
基地局に数十・数百のアンテナを配備してより綿密・高密度な空間多元接続を実現

ミリ波伝送

広大な周波数リソースを湛えるミリ波帯を移動体通信ネットワークに活用

高度な物理層信号処理

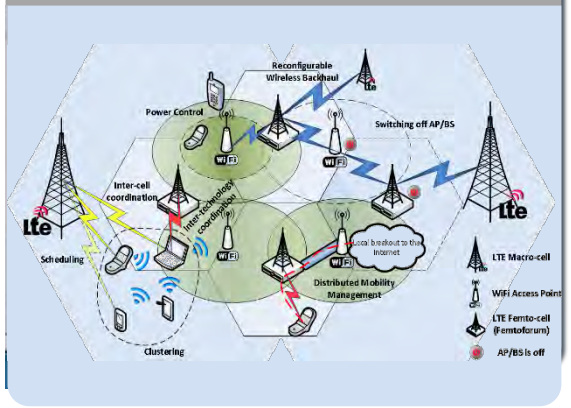
シャノン限界に漸近すべくさらなる周波数利用効率の向上を追求



高度なネットワークアーキテクチャ

「いついかなる状況でも繋がる」接続性と大容量ネットワークを実現

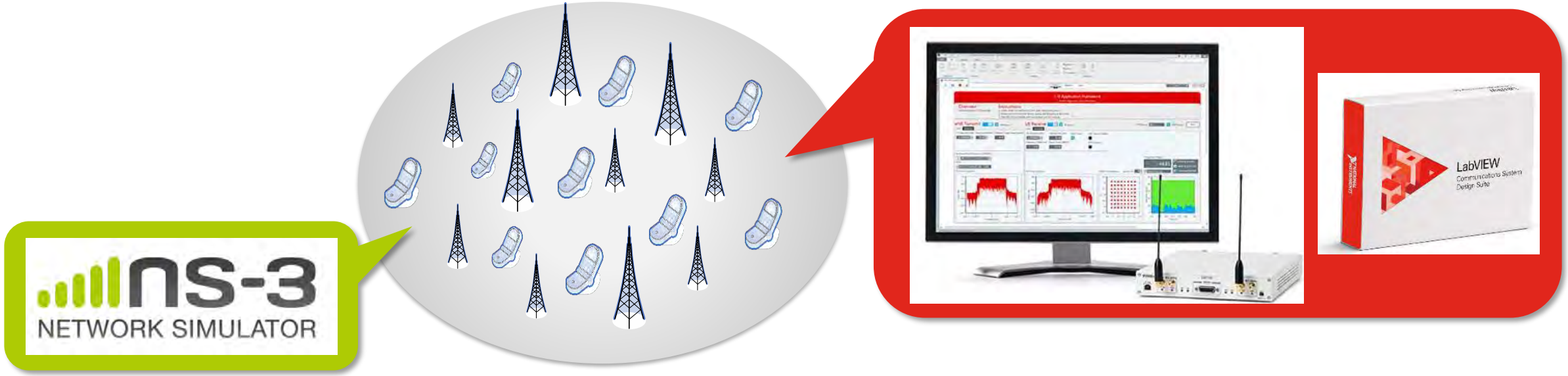
- 高密度化
- ネットワーク仮想化
- アンライセンスバンドの活用



NATIONAL INSTRUMENTS

NIの考える5G実証システムのプロトコルスタックのあり方

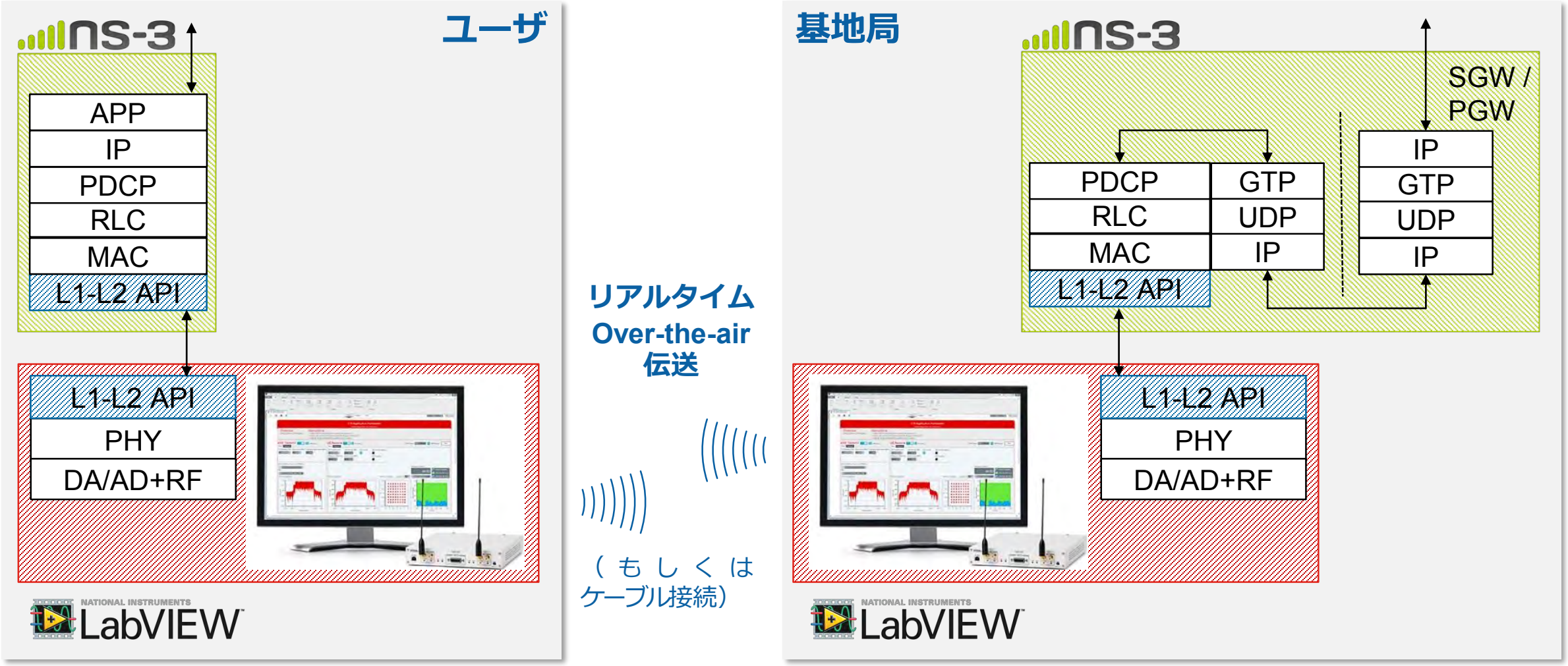
ns-3をはじめとしたサードパーティ製の実験用プロトコルスタックに、FPGAを駆使して物理層のリアルタイム処理を実装可能なNIのソフトウェア無線プラットフォームを統合



ユースケースの一例

- End-to-endのリアルタイム伝送を含めた物理層アルゴリズムの実証
- Over-the-air （電波伝搬）の下での物理層より上位層のアルゴリズムの実証

NIのプラットフォーム + ns-3 LTEプロトコルスタック



数多くのユーザ事例

Massive MIMO

- ルンド大学
- ブリストル大学
- Intel
- Samsung
- ルーヴェン・カトリック大学

高度なネットワークアーキテクチャ

- Nokia
- CROWD (欧州FP7)

高度な物理層信号処理

- ドレスデン工科大学
- NTTドコモ
- アルカテルルーセント
- InterDigital
- テキサスA&M大学

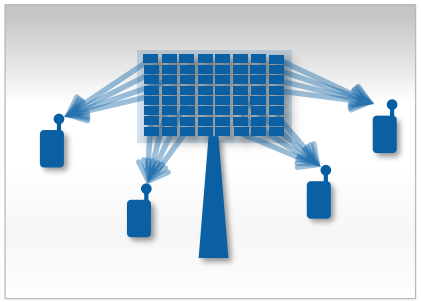
ミリ波伝送

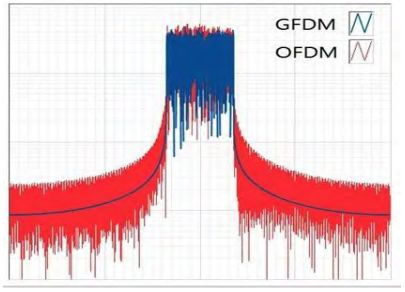
- Nokia
- NTTドコモ
- ニューヨーク大学
- MiWaveS（欧州FP7）

まとめ

- 5Gの実現にはプロトタイピングが重要な役割を占める

- NIは、5G実現のカギとなる技術の実現に向けて、迅速なプロトタイピングを通して研究者・技術者に貢献





- 日本を含む世界中の数多くのユーザによる成功実績

NATIONAL INSTRUMENTS™