



ワイヤレス通信技術プロトタイピングの最前線

ポスト5Gの技術シーズ検証から5G向け商品開発のデバッグまで欠かせないアプローチ

日本ナショナルインスツルメンツ株式会社

marketingjapan@ni.com



(株) NTTドコモ様Webサイト掲載用
2017年5月22日 発行

アジェンダ

イントロダクション

- なぜ、今「試作」なのか
- 5Gの実現に向けた最新の試作事例

試作で競争力を失わないためのアプローチとは？

商品開発フェーズだからこそ欠かせない高性能な試作環境

- 瞬時帯域幅1 GHz、ソフトウェア無線アーキテクチャのRF「計測器」
- 大規模かつ拡張性の高いFPGAアレイ



アジェンダ

イントロダクション

- なぜ、今「試作」なのか
- 5Gの実現に向けた最新の試作事例

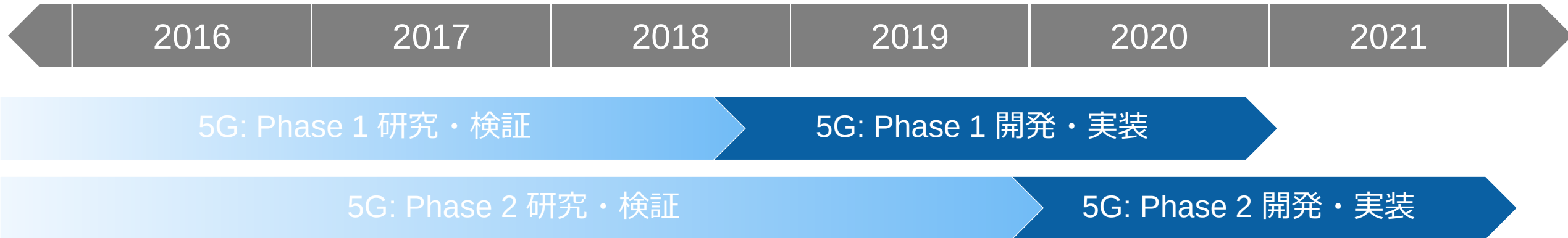
試作で競争力を失わないためのアプローチとは？

商品開発フェーズだからこそ欠かせない高性能な試作環境

- 瞬時帯域幅1 GHz、ソフトウェア無線アーキテクチャのRF「計測器」
- 大規模かつ拡張性の高いFPGAアレイ



5Gサービスインに向けたタイムライン



5G: Phase 1

- 3GPP Release 15策定 (2018年9月)
- 2020年までのサービスイン
- 有望視される周波数帯: 3-40 GHz
- 有望視される帯域幅: 200-800 MHz
- LTE同様の波形 (OFDMA・SC-FDMA)
- 1 ms未満の遅延性能の達成

5G: Phase 2

- 3GPP Release 16策定 (2019年12月)
- 2021年までに初のシステム導入
- 有望視される周波数帯: 40-100 GHz
- 有望視される帯域幅: 500 M-2 GHz
- 新たな波形の導入 (FBMC, GFDM, NOMA)
- TDDの導入が有力視

次世代無線通信の商品化の前に立ちはだかる技術課題

設計

テスト

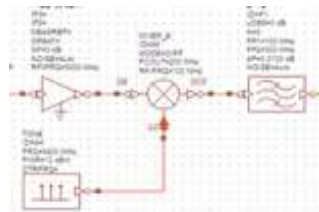
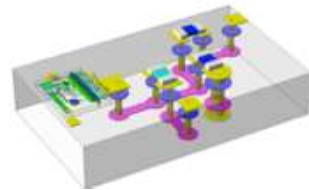
商品化

基礎研究・
アルゴリズム試作



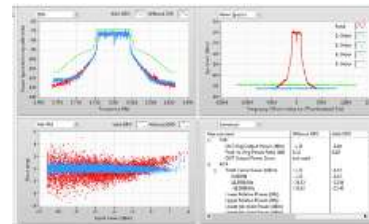
高周波回路設計

AWR NI AWR Design Environment



デバイス特性評価

+ LabVIEW™



PXI



RF素子の製造テスト

+ LabVIEW™
TestStand



ワイヤレステスト

+ LabVIEW™
TestStand



競争力の源泉



コスト

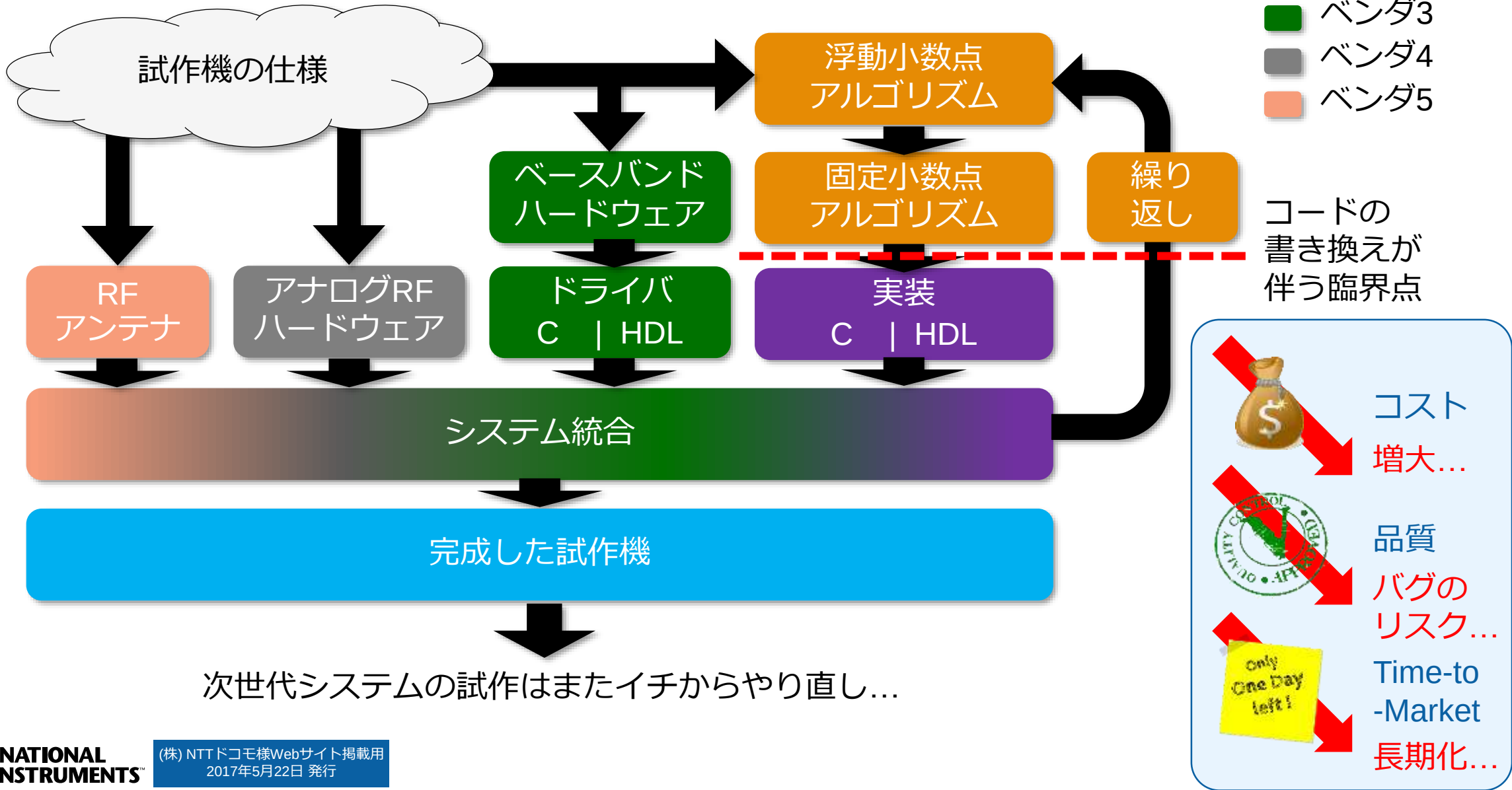


品質



Time-to-Market

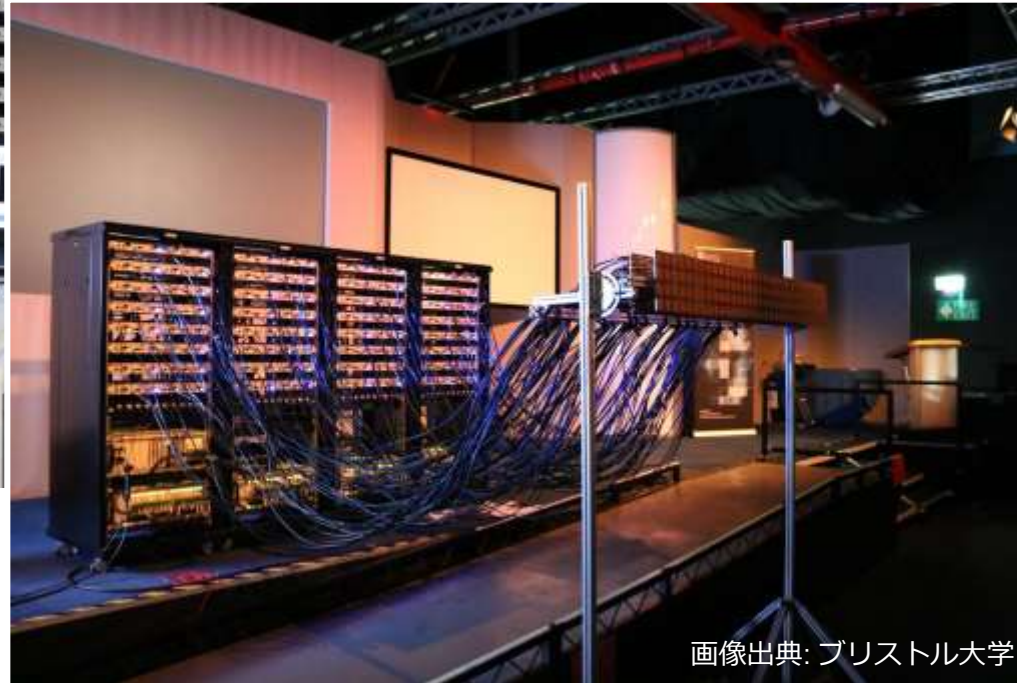
無線通信試作の開発プロセスは分断的



周波数利用効率の世界記録を塗り替え続ける研究チーム



LUND
UNIVERSITY



画像出典: ブリストル大学

- 基地局アンテナ数128、22ユーザ存在下でシステムスループット2.9 Gbit/sを達成 (2016年)
 - 3.51 GHz
 - 帯域幅20 MHz
 - 256-QAM
- 周波数利用効率145.6 bit/s/Hz
- British Telecom (BT) と共同でのフィールドテストにも成功 (2017年2月)

「NIのMIMOアプリケーションフレームワークを活用することで、
進んだ段階から研究をスタートできました。」

Andrew Nix教授、Head of the CSN Group and Dean of Engineering、ブリストル大学

世界中のMassive MIMO試作事例



FacebookのARIESプロジェクトのテストベッド

96アンテナの基地局24ユーザの環境を構築



Intel社の集中型無線アクセスネットワーク(C-RAN) サーバ
検証用RFインタフェース

64アンテナ
ベースバンド処理はIntel社の
C-RANサーバにて実施

Nokia社が5G向けミリ波通信の試作に成功



「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

- 73 GHz
- 2 GHz帯域幅
- 2x2 MIMO
- 64 QAM

NOKIA



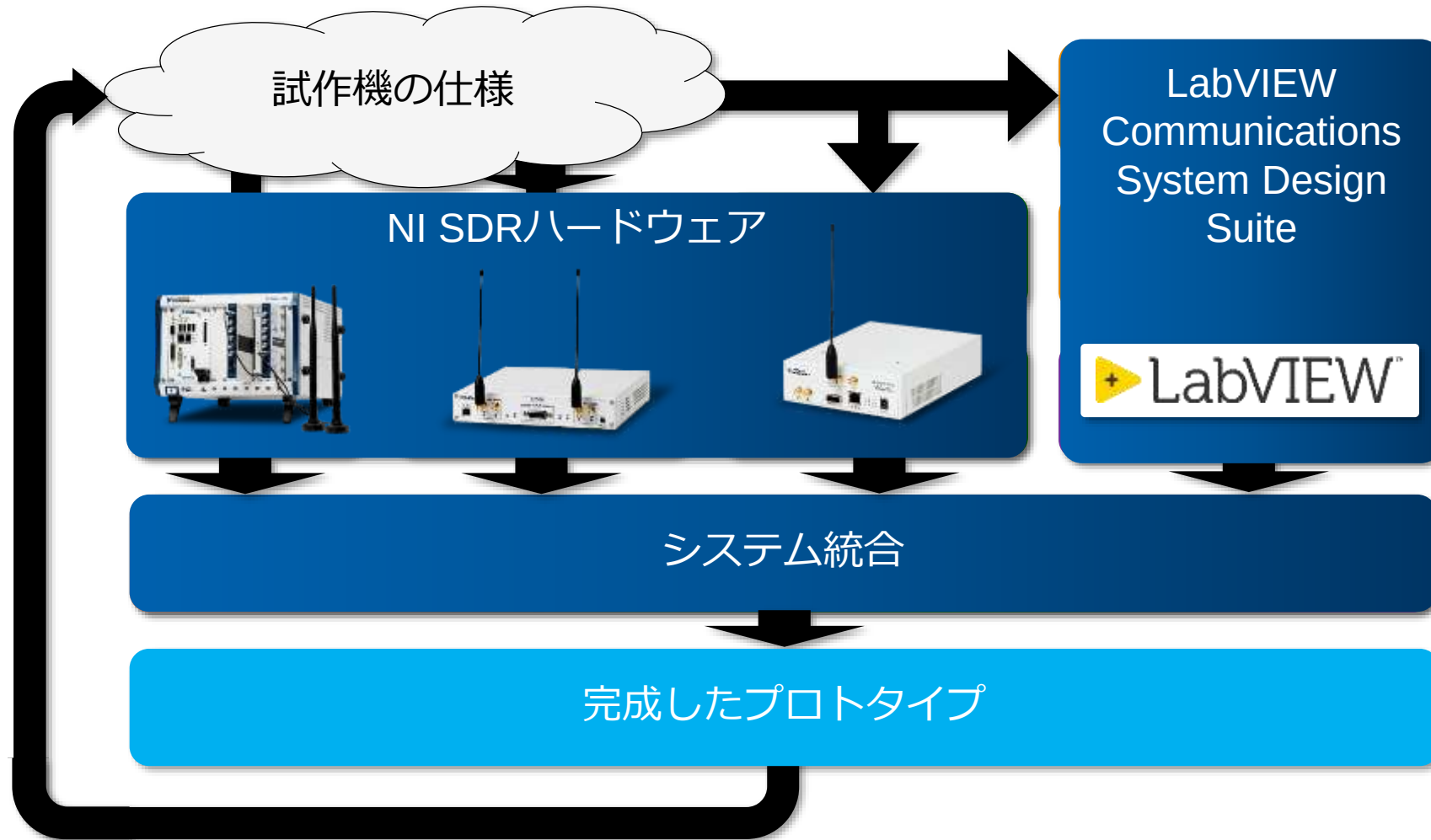
(株) NTTドコモ様Webサイト掲載用
2017年5月22日 発行

先進的な28 GHz帯チャネル サウンディング手法の確立

- 7 x 64 MIMO構成
 - 送信側は1台、受信側は4台のミリ波ヘッドに接続
- 非常に高速な計測が可能
 - コヒーレンス時間内に計測が完了
 - 通常15分程度を要する到来方向推定を150ミリ秒未満で実行し、リアルタイム可視化
- NIとAT&T社の共同研究による成果
- リアルタイム計測性能は自動車関連アプリケーションに向けたチャネル特性評価への利用に最適



試作で競争力を失わないためのアプローチとは？



次世代のシステムにも設計を流用可能

COTS (市販製品) として入手できる無線通信試作環境



NIの無線通信試作プラットフォーム

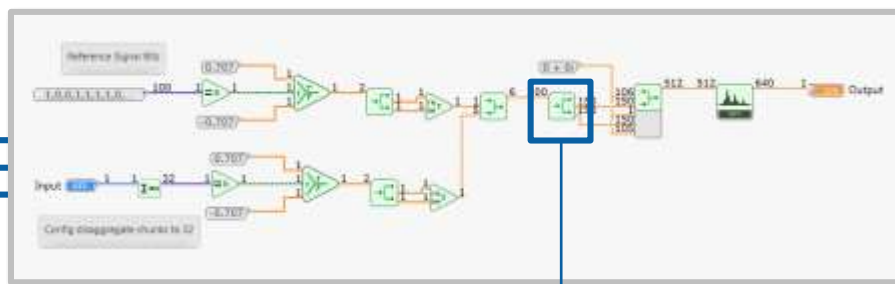
The Revolution in Rapid Prototyping

ハードウェア



ソフトウェア

アルゴリズム開発言語

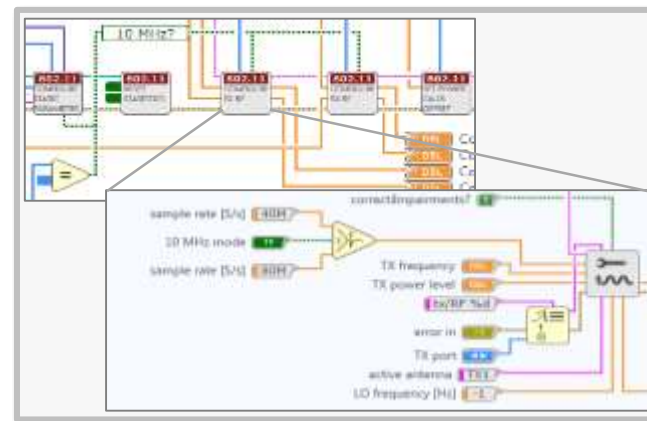


FPGAへの設計展開



FPGAに対応したモジュール式IP

LTE, 802.11, MIMO Application Frameworks



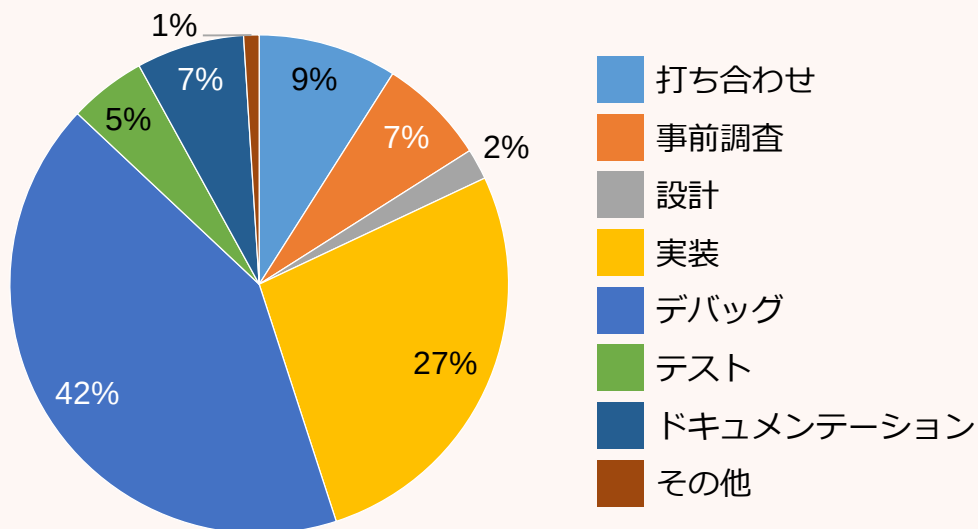
実際に試作開発効率の向上に成功した一例

無線通信のデジタル信号処理の実装・受託開発に
卓越した技術力を持つ株式会社ドルフィンシステムの場合



開発プロジェクトA

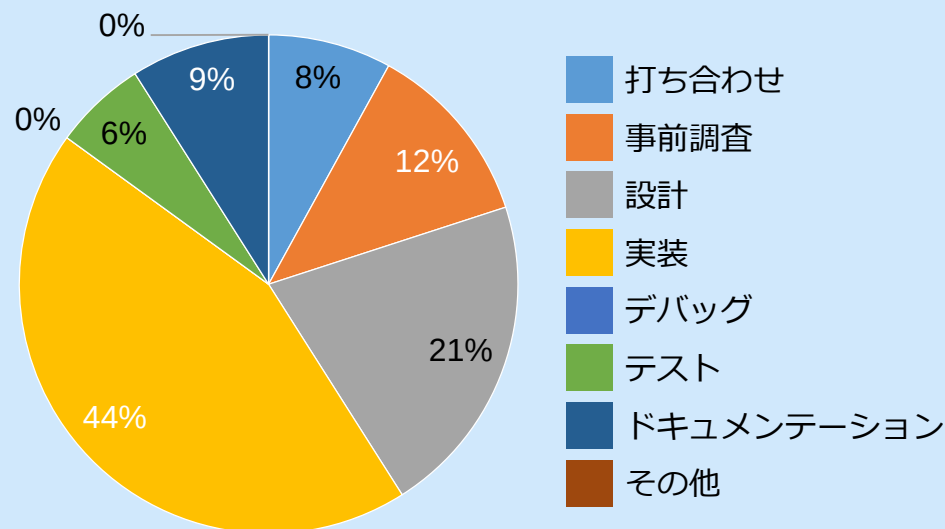
複数のFPGAボードに信号処理アルゴリズムを実装



- FPGA間のデータ転送を含むハードウェア制御を中心にデバッグ工数が増大
- 本来のコア業務である実装に投資できた時間は全体の高々27%

開発プロジェクトB

NIのIF入出力ボードで受信したIF信号を処理して送信



- ハードウェアやデバイスドライバ関係の不具合・トラブルには遭遇せず
- 本来取り組むべき信号処理の設計・実装に専念
- 当初の想定よりも早期の完成に成功

アジェンダ

イントロダクション

- なぜ、今「試作」なのか
- 5Gの実現に向けた最新の試作事例

試作で競争力を失わないためのアプローチとは？

商品開発フェーズだからこそ欠かせない高性能な試作環境

- 瞬時帯域幅1 GHz、ソフトウェア無線アーキテクチャのRF「計測器」
- 大規模かつ拡張性の高いFPGAアレイ



モジュール式計測の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



モジュール式計測のPXIシステム

従来型の計測器 (箱形)



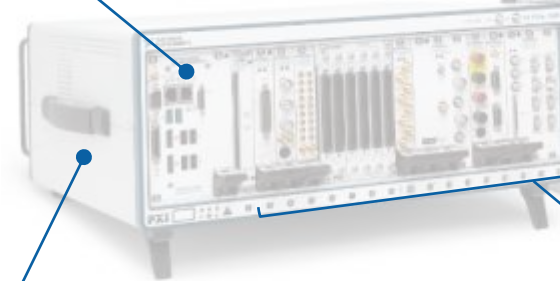
vs.

PXIモジュール式計測器

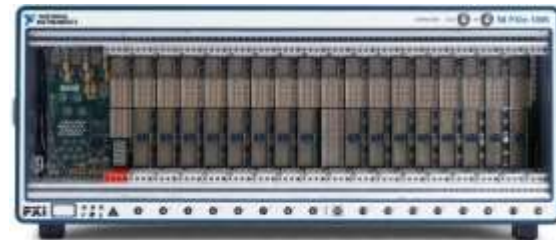
PCベースの
組込コントローラ



PXIシャーシ



PXI
モジュール式計測器



業界最高水準のPXI製品ラインナップ



PXIe-5840
6.5 GHz、1 GHz瞬時帯域幅
ベクトル信号トランシーバ
(VST)



PXIe-5668R
26.5 GHz、765 MHz瞬時帯域幅
ベクトル信号アナライザ (VSA)



PXIe-4135
10 fA感度高精度
ソースメジャーユニット
(SMU)



PXIe-5164
14ch、1 GS/s
高電圧オシロスコープ



PXIe-6570
半導体テスト向け
デジタルパターン計測器



NI 8266
24ドライブ内蔵可能
RAIDシステム



PXIe-8880
Intel Xeon 8コアCPU搭載
PXI Expressコントローラ



PXIe-1085
24 GB/秒システムスループット
PXI Expressシャーシ

USRPソフトウェア無線機

PCI Express x4 接続インタ フェース

ホストPCとの間で
830 MB/sでのデー
タ転送が可能



Xilinx Kintex-7 FPGA

LabVIEWで自由にプログラム可能
CPUとFPGAのソフトウェアを同じ言語・
環境で開発でき、開発効率を向上

高速なADC/DAC

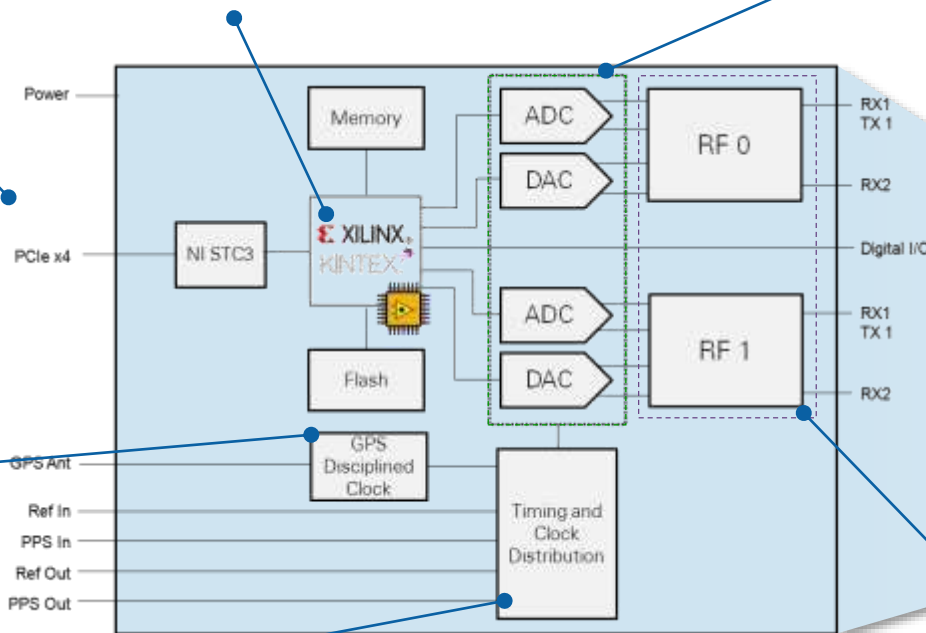
最大160 MHzのリアル
タイム帯域幅を実現

GPS基準クロック

GPSを用いた分散同期
長期安定性に優れた
基準クロック

柔軟なクロックI/O

複数のUSRP間でクロックを共有して
高度なタイミング同期が可能



RFフロントエンド

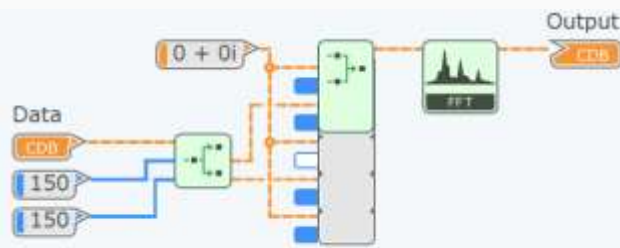
2つのRF送受信ユニットを搭載し
1台で2 x 2 MIMOシステムの試作が可能
中心周波数: 10 MHz ~ 6 GHz
帯域幅: 最大160 MHz



ソフトウェア開発はLabVIEW Communicationsに統合

工程横断で活用できる単一のツールチェーン  LabVIEW[®]

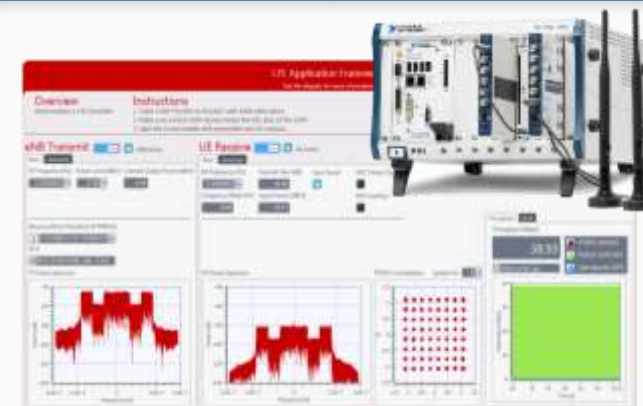
アルゴリズム開発



システムへのマッピング



設計検証



迅速な繰り返しループ

Massive MIMOプロトタイピングシステム

NIのPXI + USRP → 自由度が高いMassive MIMOプロトタイピング環境が実現

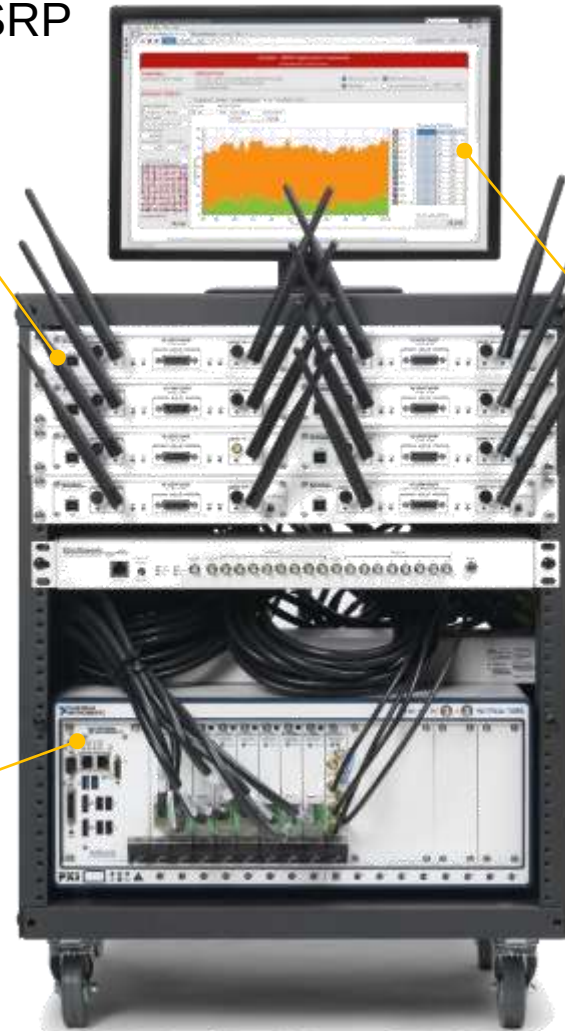


USRP

超多数のUSRPをPXIに収容して
大容量な処理データをストリーム
ユーザプログラマブルなFPGAを
活用したリアルタイム信号処理
緊密なRF同期



PXI



LabVIEW Communications
MIMO Application Framework



オープンソースのリファレンスデザイン
を使って開発を加速
LTEベースのフレーム構成、OFDM、
ZF/MMSE/MRC MIMO検出、線形MMSEプ
リコーディングなどがFPGAに実装済で
自由に編集可能

ミリ波トランシーバシステム

瞬時帯域幅2 GHz、リアルタイム動作に対応したCOTS*のミリ波通信試作環境
ソフトウェア無線アーキテクチャとモジュール式ハードウェアの利点を活かし
単方向SISOから双方向MIMOまで自由に構成可能

ミリ波ヘッド

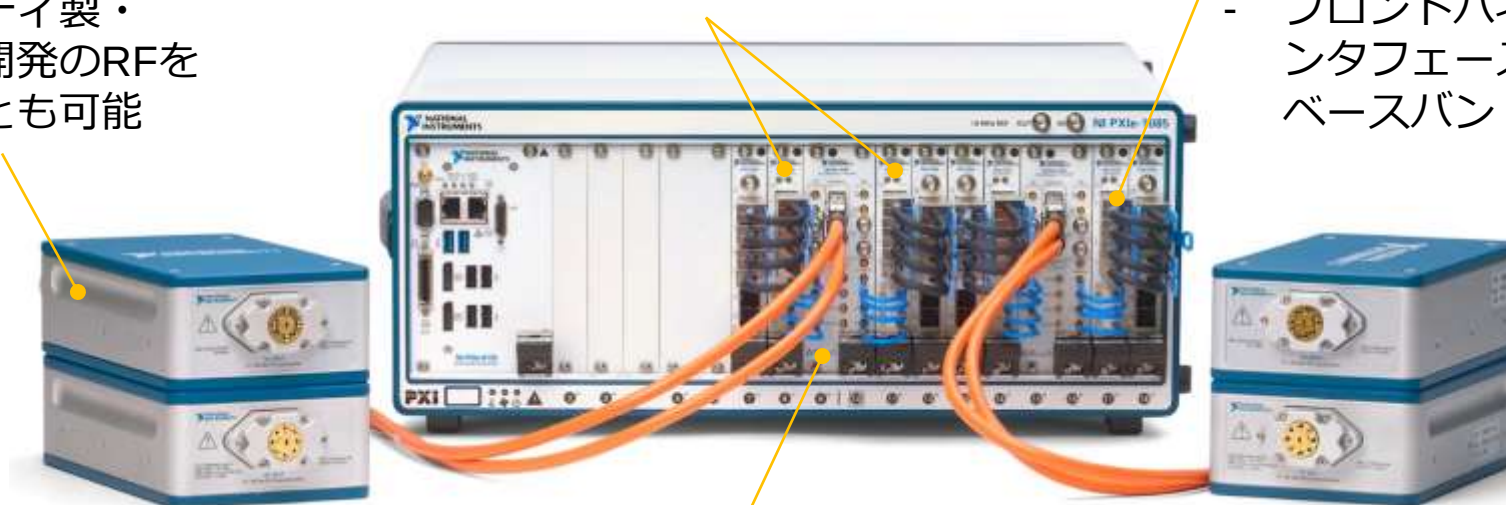
- 71-76 GHz
- 27.5-29.5 GHz
- サードパーティ製・
ユーザ独自開発のRFを
導入することも可能

ベースバンドADC/DAC

- 14ビット、3 GS/s DAC
- 12ビット、3 GS/s ADC

ベースバンド信号処理

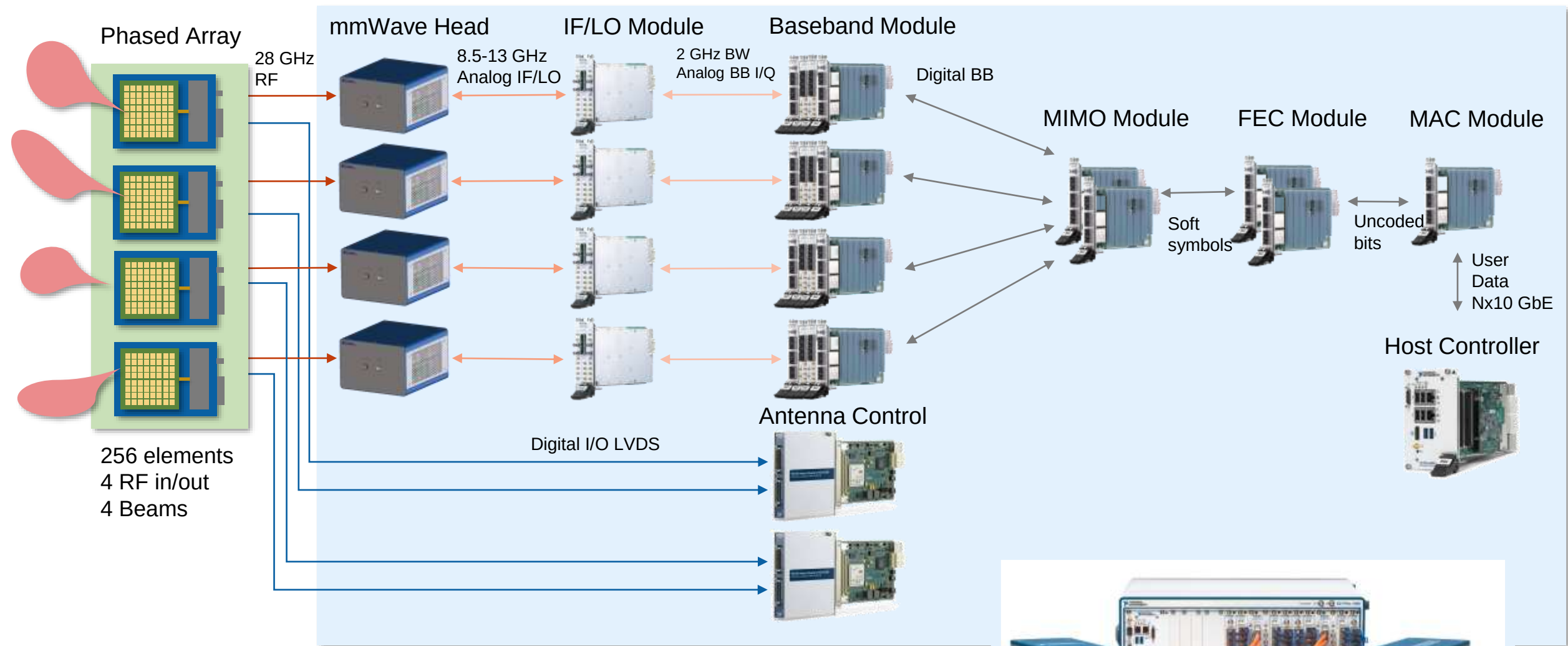
- 搭載するXilinx Virtex-7 485Tを
ユーザが自由にプログラム可能
- フロントパネルの高速シリアルイ
ンタフェースで広帯域デジタル
ベースバンドデータを伝送



LO/IF (1出力/1入力)

- 8.5-13 GHzの間で設定可能

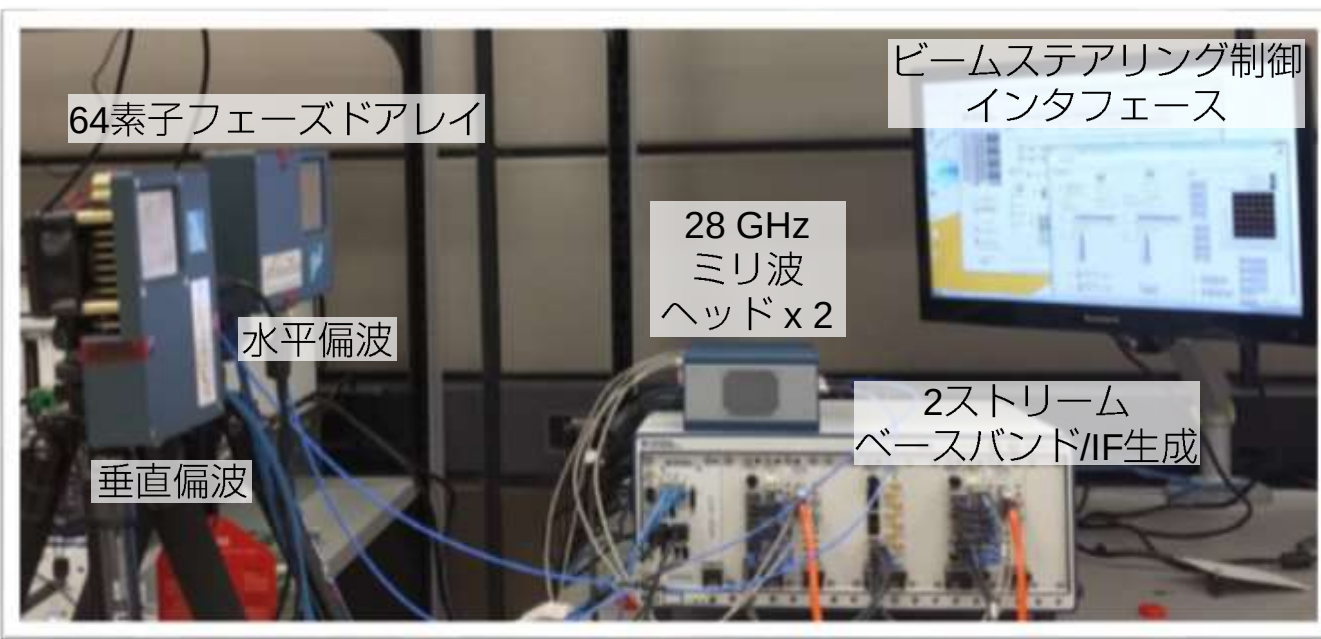
28 GHz帯5G NR・Verizon 5Gに準拠した基地局の試作例



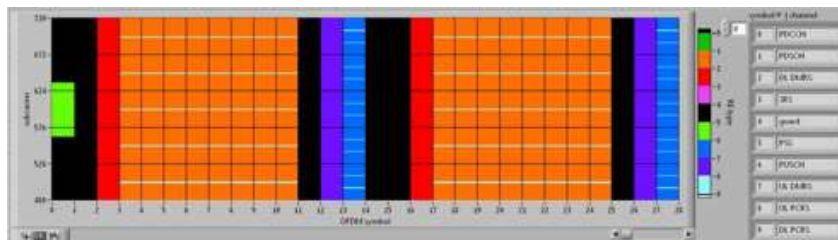
2 x 2 下りリンクの伝送実験の様子

28 GHz、800 MHz、OFDM、ハイブリッドビームフォーミング対応
(100 MHzコンポーネントキャリア、8波アグリゲート)

2ストリーム伝送、2ユーザ



Dynamic TDD
with self-
contained
subframe



UE 0
64-QAM
2.9 Gbps



アジェンダ

イントロダクション

- なぜ、今「試作」なのか
- 5Gの実現に向けた最新の試作事例

試作で競争力を失わないためのアプローチとは？

商品開発フェーズだからこそ欠かせない高性能な試作環境

- 瞬時帯域幅1 GHz、ソフトウェア無線アーキテクチャのRF「計測器」
- 大規模かつ拡張性の高いFPGAアレイ



ベクトル信号トランシーバ (VST)

様々な計測コンポーネントが、たった2スロットのPXIモジュールに統合

① ベクトル信号
発生器 (VSG)



② ベクトル信号
アナライザ
(VSA)

③ ユーザプログラマブル
FPGA

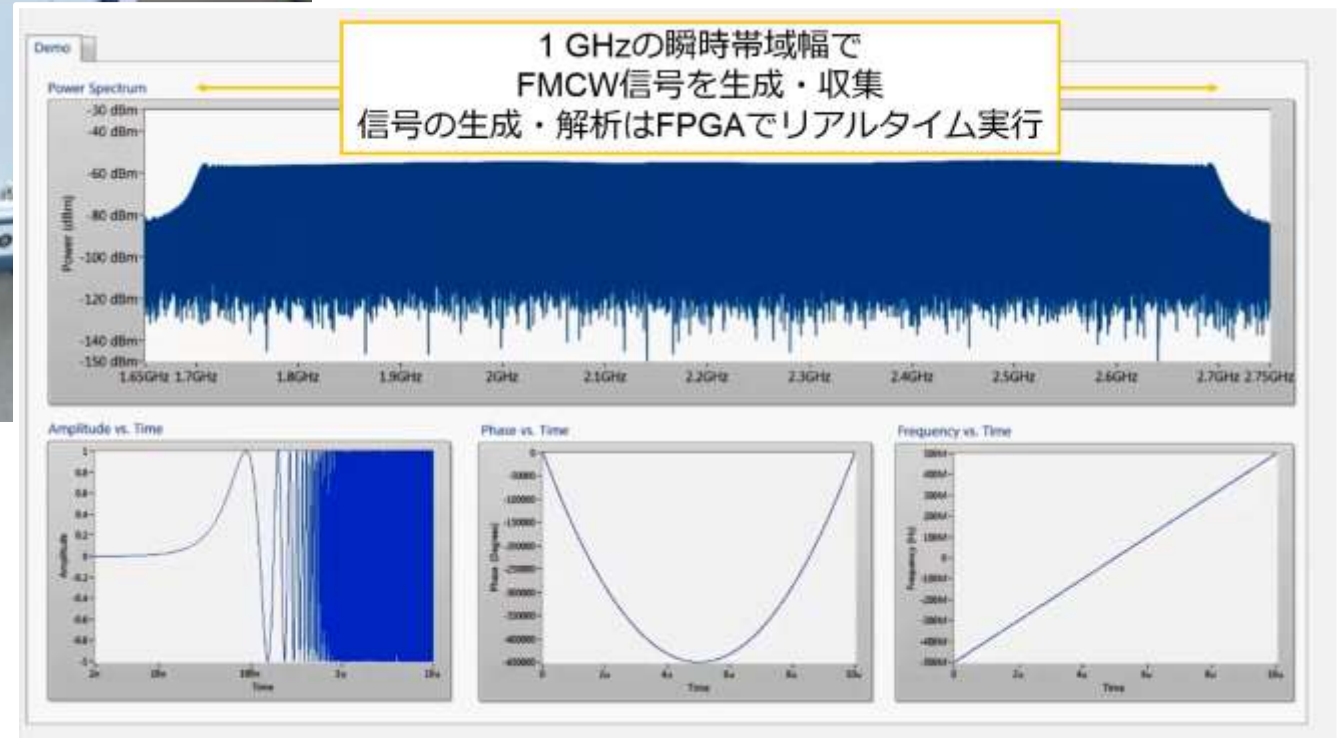


④ 高速シリアル・
パラレルデジタルI/O



1 GHzの瞬時帯域幅

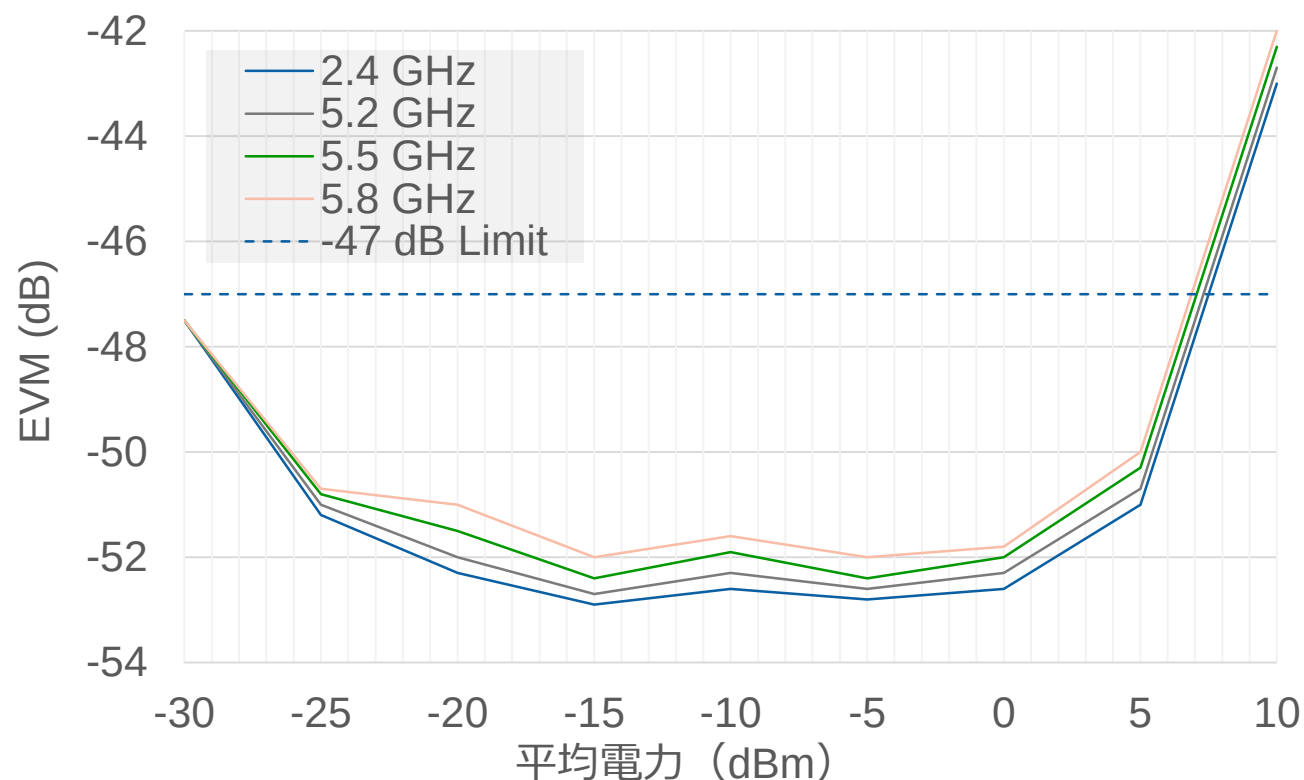
1 GHz帯域幅のFMCWの合成・リアルタイム解析の実装例



IEEE 802.11axの所要品質をクリアしたEVM性能

出力電力をスweepさせたときのEVM計測結果

- 帯域幅80 MHzのIEEE 802.11ax信号を対象
- 同一のVSTからの出力信号を入力にループバック
- 外部LOモジュールを使用



優れた性能を実現する技術

- 独自の等化技術 (特許技術)
- 優れた位相ノイズ性能
- 高度なセルフキャリブレーション
アルゴリズム

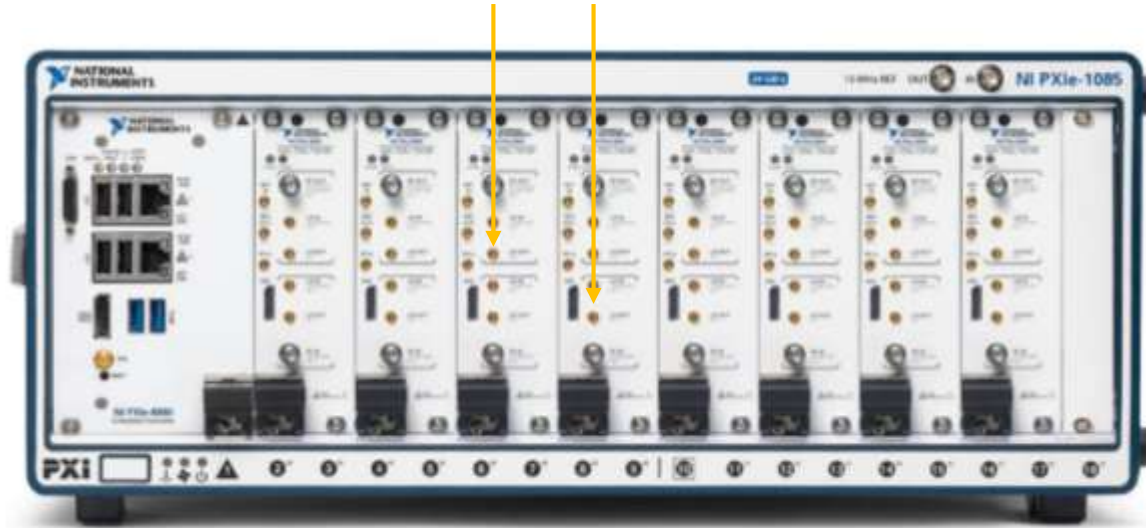


802.11axテスト用LabVIEWサンプル

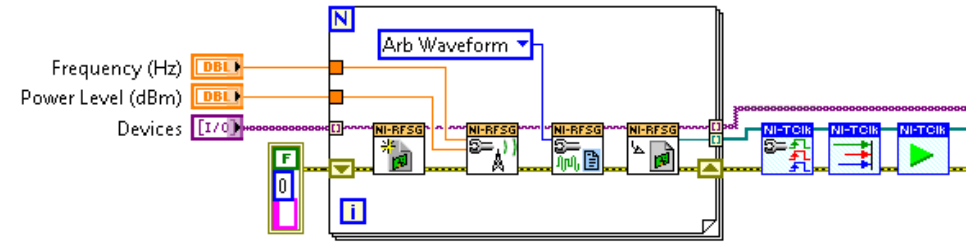
*仮仕様 (9/28/16)

高機能化を遂げながらも2スロット分に小型化

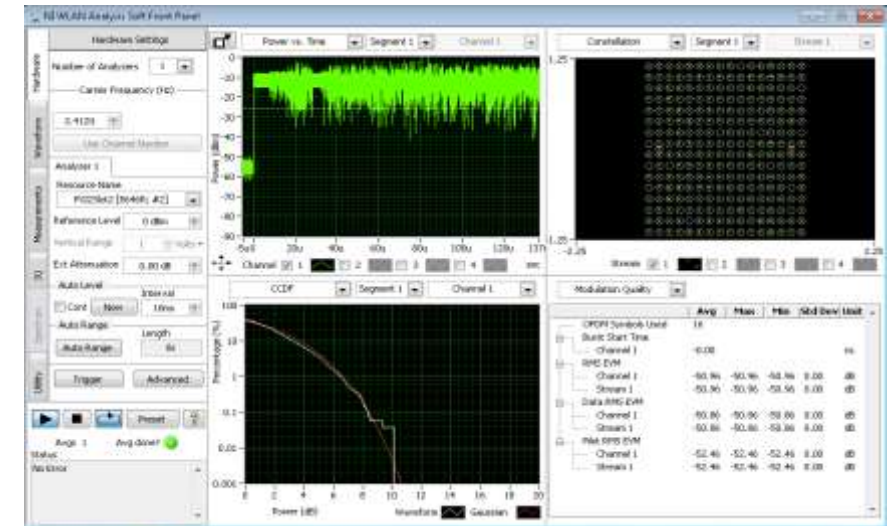
複数のVST間でLO信号を共有して
ビームフォーミングなどの
アダプティブアレイ技術に対応可能



たった470 x 450 x 180 mmのサイズで
瞬時帯域幅1 GHz、高性能アナログを持つ
8 x 8 MIMO計測システムが実現



スケーラブルな同期計測が可能なソフトウェアAPI



IEEE 802.11用テストソフトウェアで
8 x 8 MIMOテストをサポート

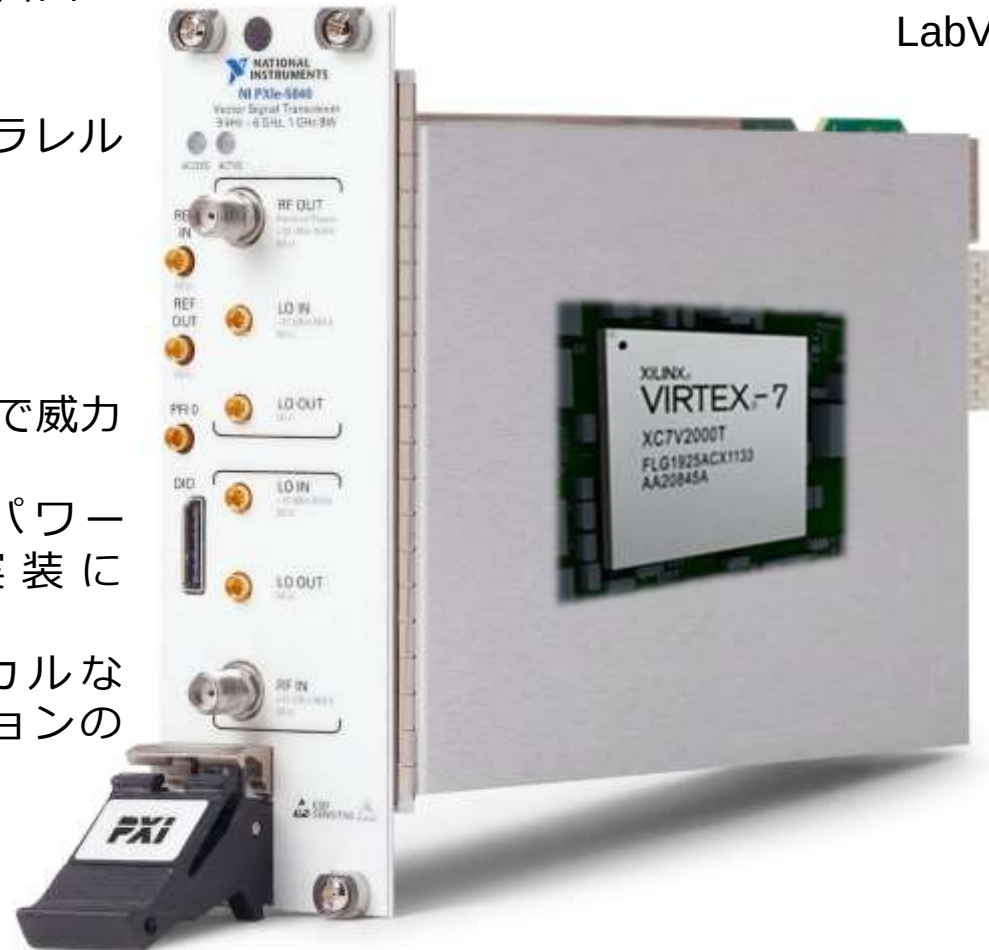
ユーザプログラマブルなFPGAで高速信号処理

全てのI/OはFPGAから自由にアクセス可能

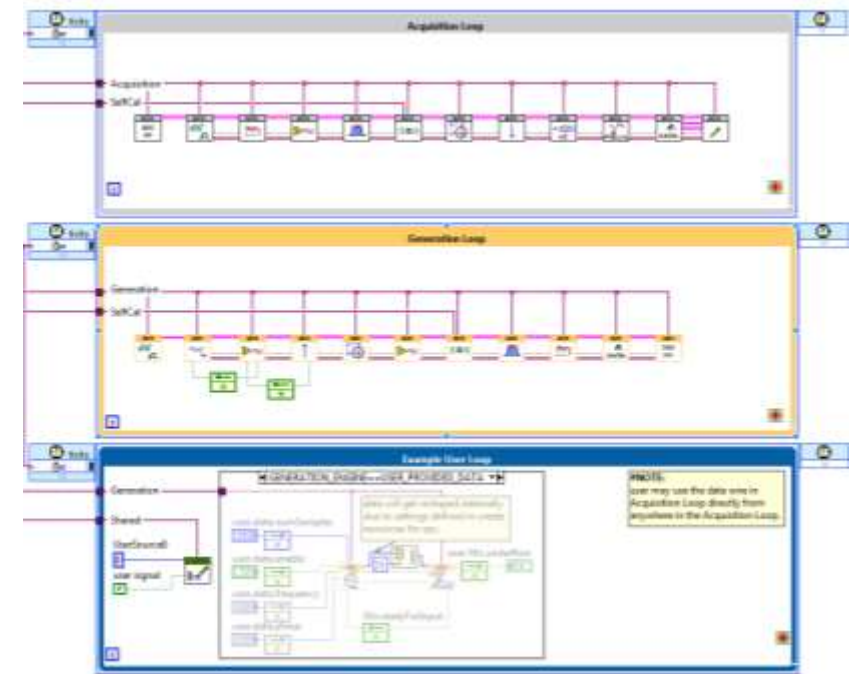
- RF入出力
- 高速シリアル・パラレルデジタルI/O
- トリガ

以下のテストシナリオで威力を発揮

- 変復調・DPD・パワーサーボなどの実装によるテストの高速化
- タイムクリティカルな無線アプリケーションのテスト



LabVIEWで思いのままにFPGAプログラミングが可能



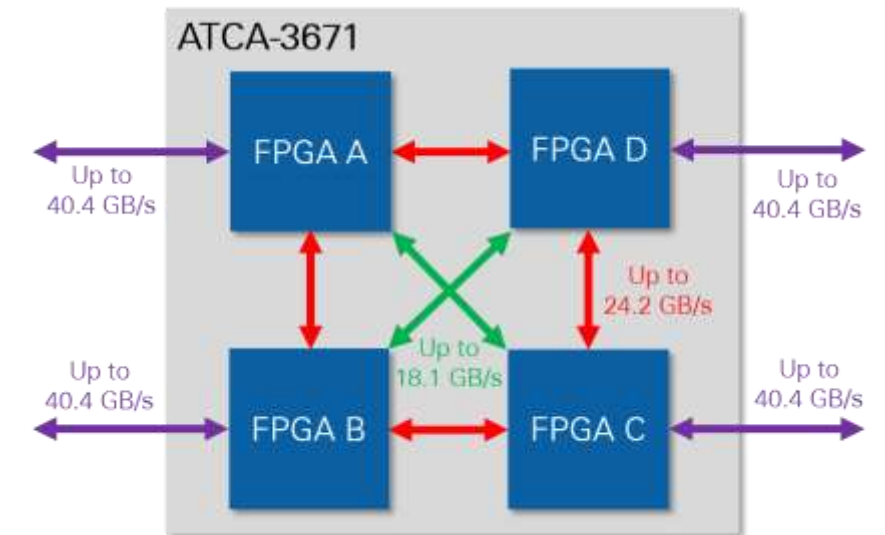
 LabVIEW™

大規模信号処理に欠かせないFPGAアレイ

ATCA-3671 FPGAモジュール (旧BEEcube BEE7)

Xilinx Virtex-7 690T FPGAを4台内蔵

- 合計14,400のDSPスライス
- 64 GBのDDR3 DRAM搭載



各FPGA間は高速大容量・低遅延なデータ転送

- 約20 GB/秒の占有データ転送レーン (共用 (バス) ではない点に注意)
- 低遅延なXilinx Auroraプロトコル



PCI Express

Xilinx Aurora

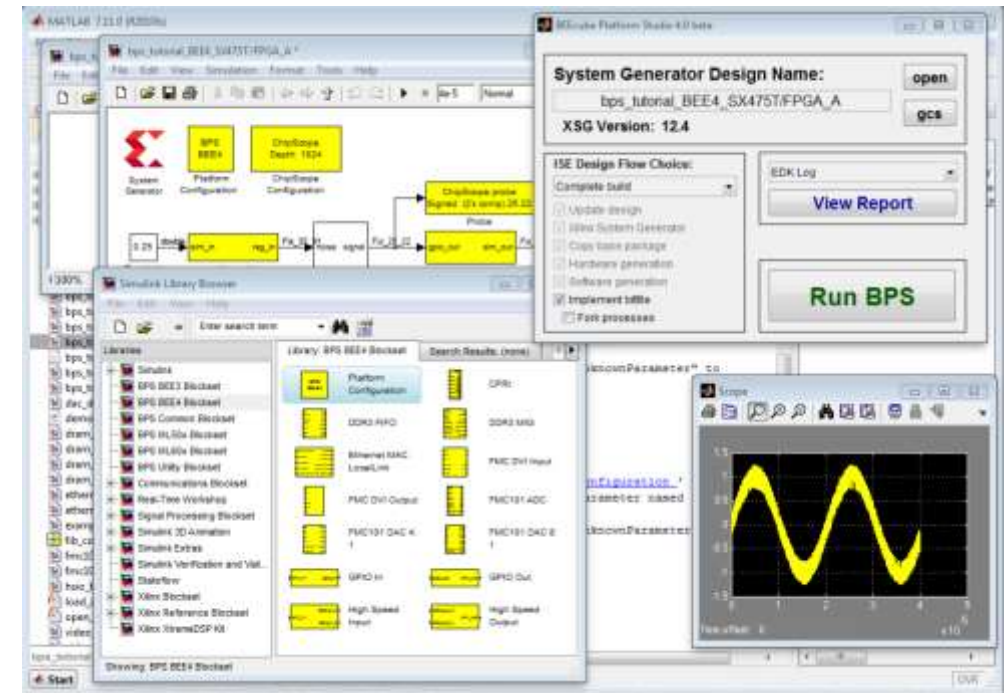
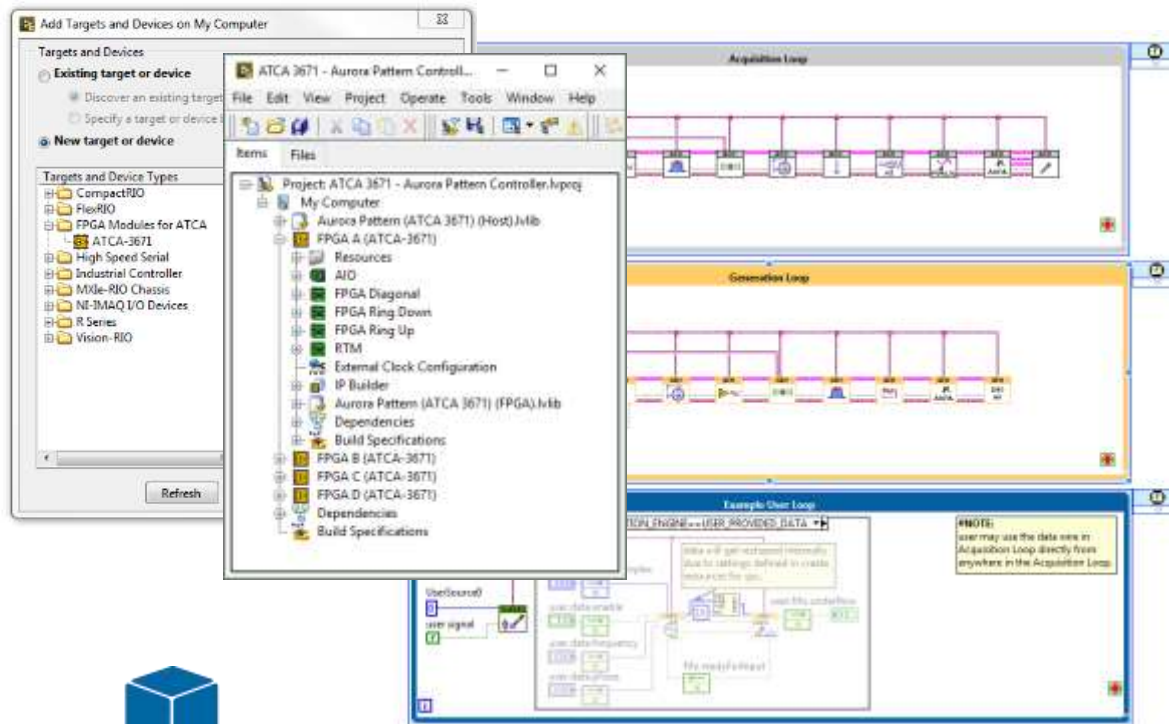


高速シリアル通信で外部機器と接続

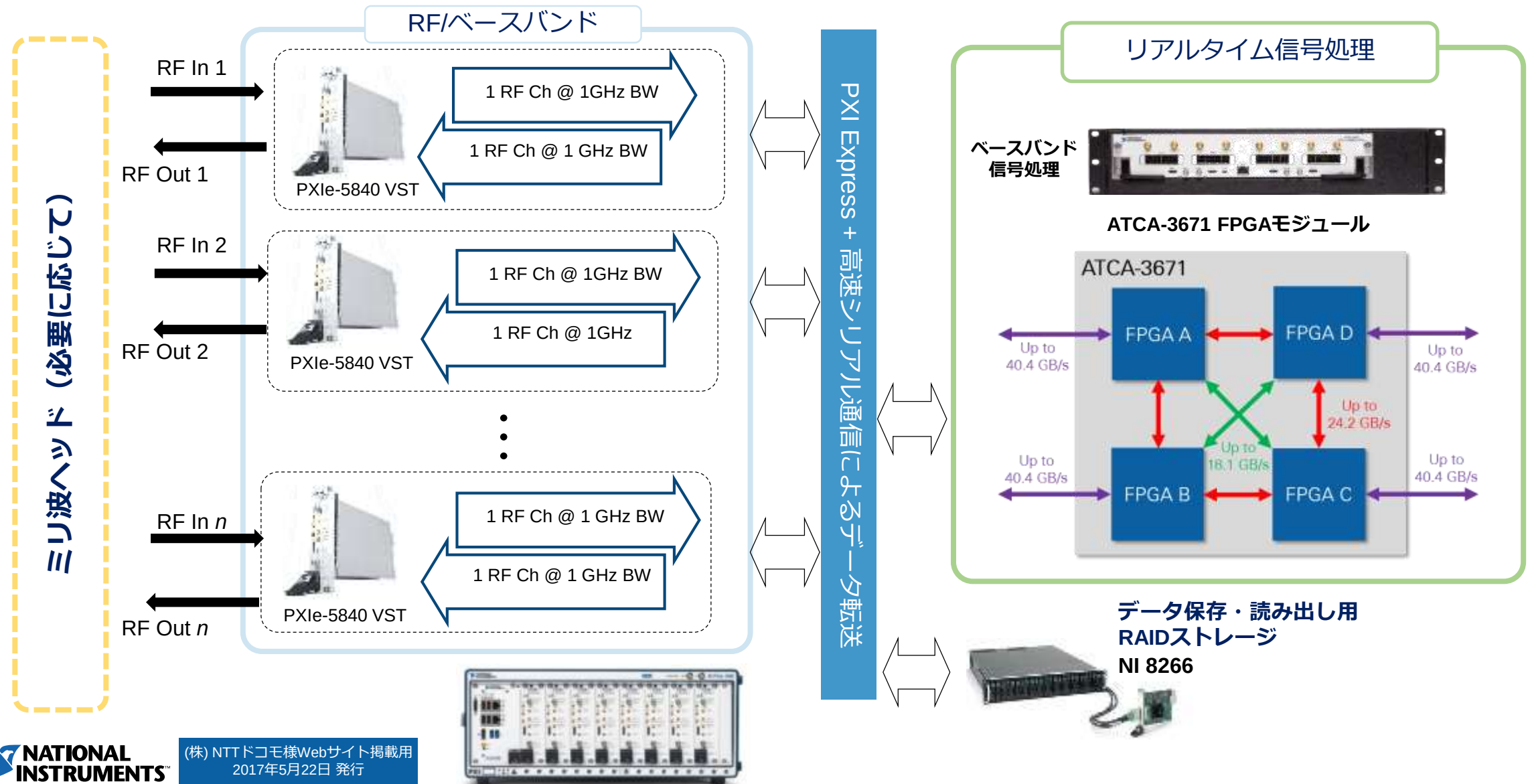
- 第3世代PCI Express x8
- カスタム高速シリアル通信
- 最大合計162 GB/秒のデータレートを実現

ATCA-3671 FPGAモジュール (旧BEEcube BEE7)

FPGAはLabVIEW FPGAもしくははBEEcube Platform Studio + Xilinx Vivadoで開発可能



広帯域・高アナログ性能・多入出力RFシステムの構成例



アジェンダ

イントロダクション

- なぜ、今「試作」なのか
- 5Gの実現に向けた最新の試作事例

試作で競争力を失わないためのアプローチとは？

商品開発フェーズだからこそ欠かせない高性能な試作環境

- 瞬時帯域幅1 GHz、ソフトウェア無線アーキテクチャのRF「計測器」
- 大規模かつ拡張性の高いFPGAアレイ



次世代無線通信の商品化の前に立ちはだかる技術課題

設計

テスト

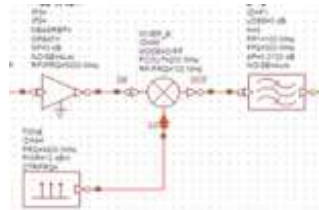
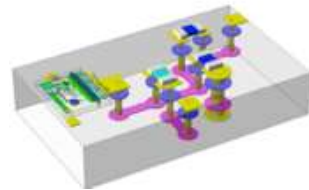
商品化

基礎研究・
アルゴリズム試作



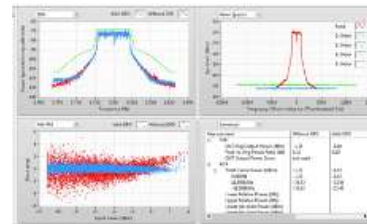
高周波回路設計

AWR NI AWR Design Environment



デバイス特性評価

+ LabVIEW™



PXI



RF素子の製造テスト

+ LabVIEW™
TestStand



ワイヤレステスト

+ LabVIEW™
TestStand



競争力の源泉



コスト



品質



Time-to-Market

NIの無線通信試作プラットフォーム

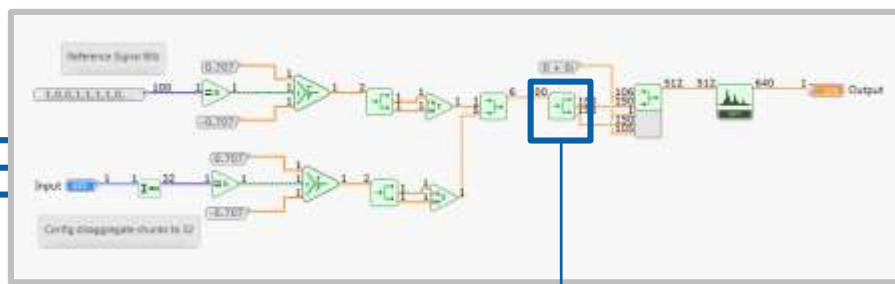
The Revolution in Rapid Prototyping

ハードウェア



ソフトウェア

アルゴリズム開発言語

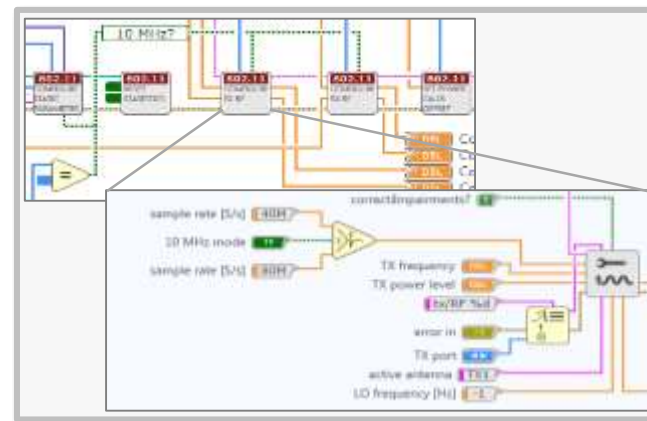


FPGAへの設計展開



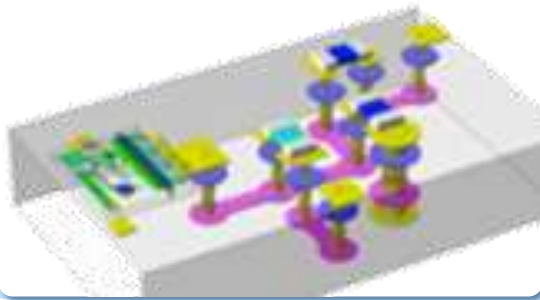
FPGAに対応したモジュール式IP

LTE, 802.11, MIMO Application Frameworks



無線通信技術の進化を支えてきたNIのプラットフォーム

シミュレーション



高周波システム試作開発



半導体テスト



ワイヤレステスト



 **LabVIEW™**



PC



PXIシステム



USRP ソフトウェア無線機

まとめ

NIのプラットフォームを活用した試作によって、多くのエンジニア・研究者が次世代無線通信の実現に不可欠な技術の実証に成功



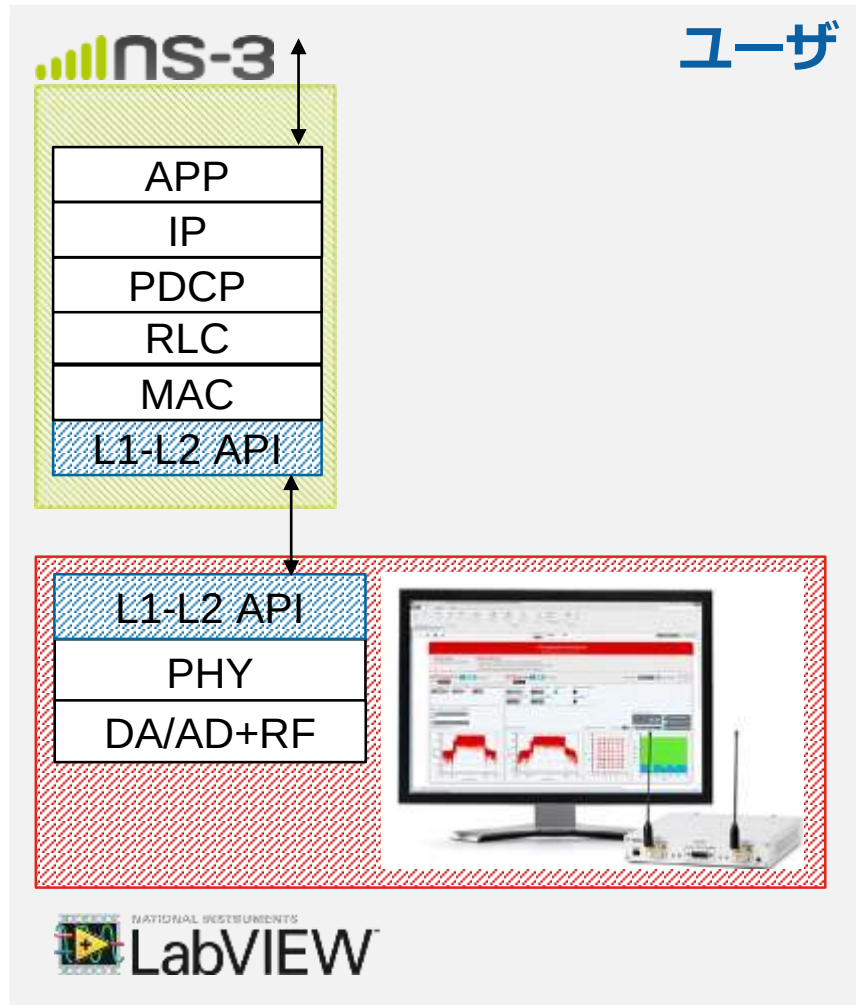
COTS（市販品）ベースの統合試作プラットフォームは無線通信技術のバリューチェーンにおける様々な工程で競争力（コスト・品質・Time-to-Market）を強化



高いRF性能や信号能力を有するソリューションは商品開発ステージにおけるシミュレータ・対向器ニーズに最適



NIのプラットフォーム + ns-3 LTEプロトコルスタック



リアルタイム
Over-the-air
伝送

(もしくは
ケーブル接続)

