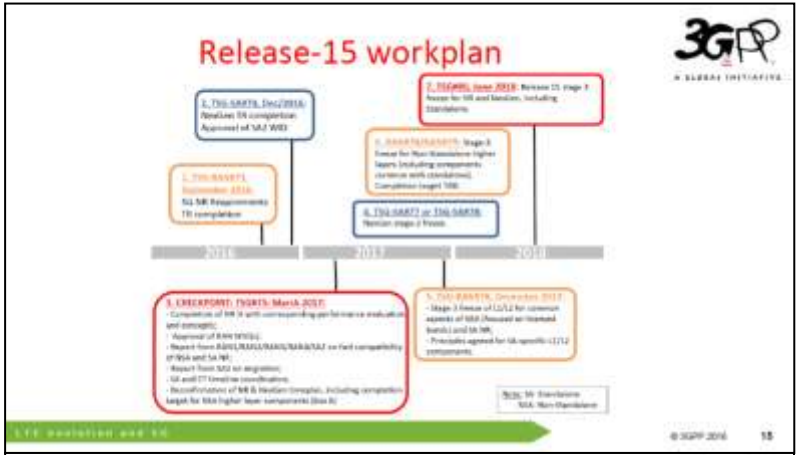
5G Technologies and Trials for 5G Deployment

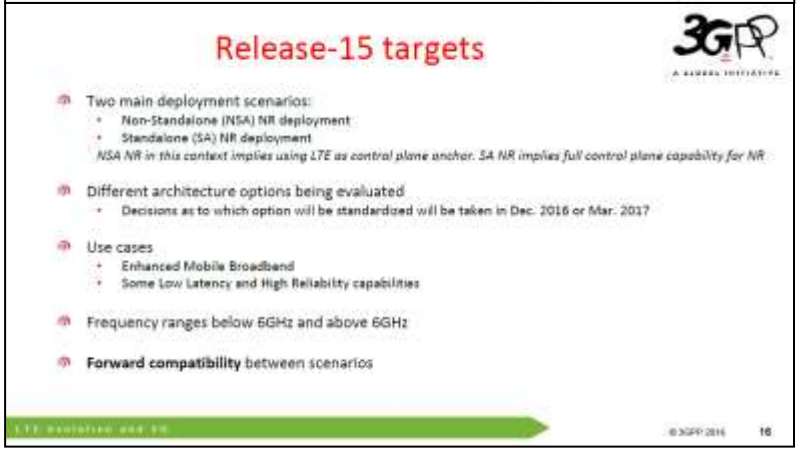
Takehiro Nakamura
NTT DOCOMO, Inc.

5G Technologies

3GPP 5G Standardization

- Phased approach
  - Rel-15: the first 5G specs for 5G launch in 2020 and earlier
  - Rel-16: for ITU submission and 5G enhancements
- Time plan for Release 15 5G specs was accelerated according to strong pressure from the market for the early 5G launch.
- Release 15 features
  - Non-Stand Alone (NSA) and Stand Alone (SA)
    - NSA L1/L2 to be completed by Dec. 2017
    - Stand Alone to be completed by time to complete Rel-15 stage 3, i.e. June, 2017
  - eMBB and part of URLLC prioritized
  - Both of below and above 6 GHz





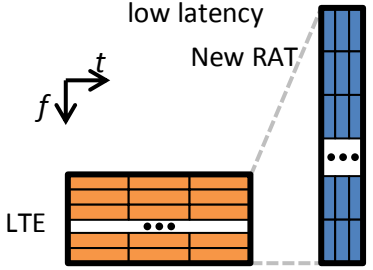
出展：Presentation from Mr. Dino Flore, 3GPP RAN Chairman, at the 2nd Global 5G Event at Rome, Italy https://5g-ppp.eu/event/second-global-5g-event-on-9-10-november-2016-in-rome-italy/

5G Key Technologies for 2020 Deployment

New RAT

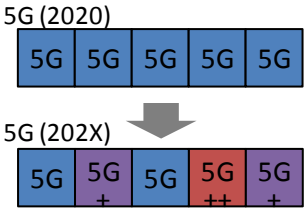
New numerology with low latency

Wider bandwidth and low latency

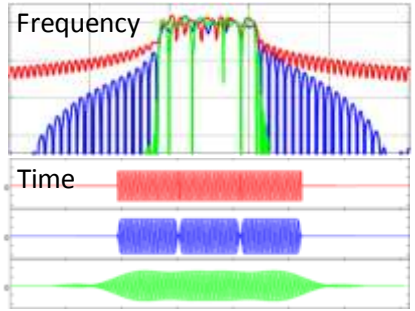


Lean radio frame

Less inter-cell interference, energy saving, good forward compatibility

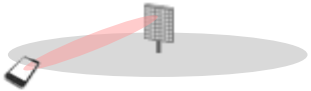


Well localized waveform



Massive MIMO/ beamforming

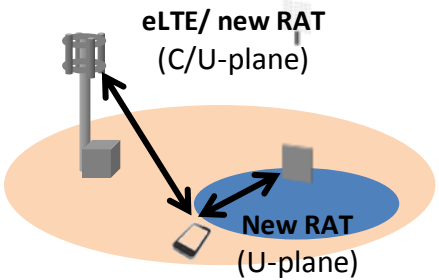
Cell range extension

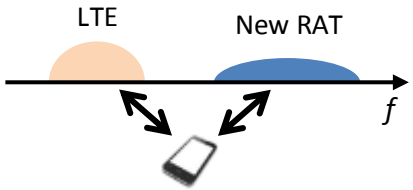


Improved spectral efficiency

Tight LTE integration

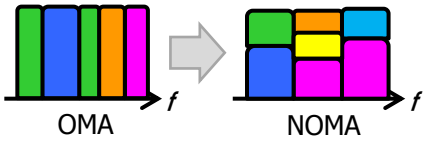
C/U-plane split LTE-assisted access (dual connectivity, CA)





NOMA on LTE

Further cellular enhancement with massive connectivity



Intentional non-orthogonality

IoT related LTE enhancements

Low cost / Long battery life devices

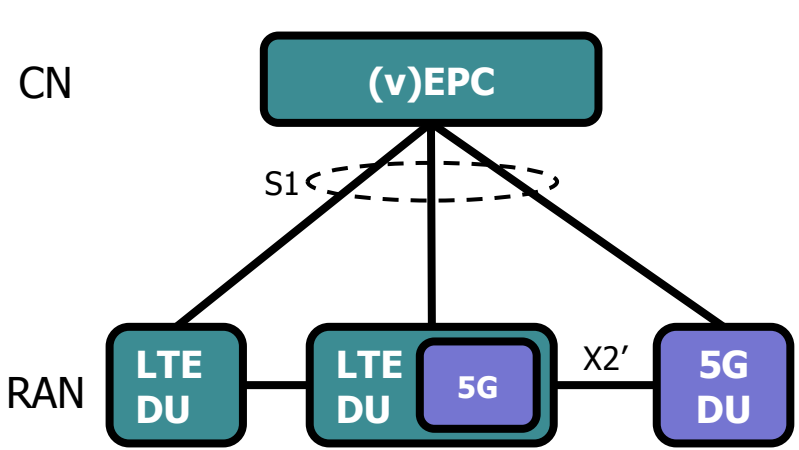
Radio Technology Components for Phase 1 and Phase 2

Technology components	Phase I of new RAT	Phase II of new RAT
Target spectrum	Up to 50 GHz	Up to 100 GHz
Target deployments	eMBB, URLLC	All scenarios
Waveform	OFDM + DFT spread OFDM	Single carrier (or alternative waveform) ?
Numerology	Flexible numerology	Optimizations to higher frequency bands and all use cases
Radio frame design	Low latency Minimized overhead channels Flexible radio frame structure	Extension to support all use cases
Massive MIMO	Supported	Possible extensions for higher order array, UE beamforming, etc.

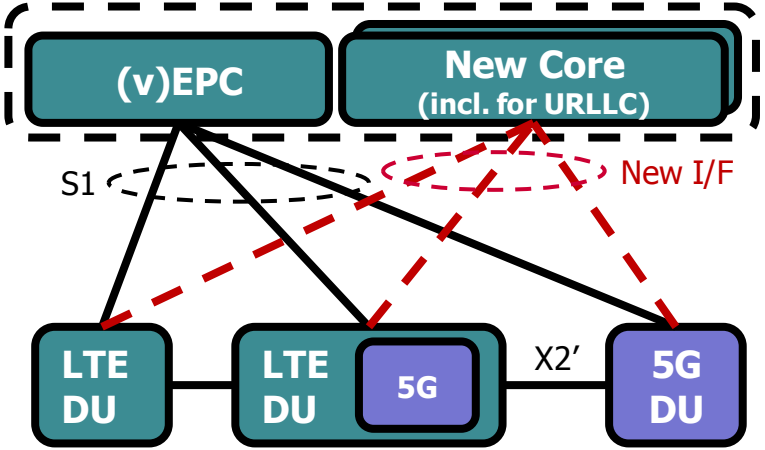
Core network for 5G

- EPC can host 5G RAN
  - EPC is well suited for eMBB and mMTC type traffic
  - Existing infrastructure can be used and also allows for early 5G introduction
- New Core can be defined if study proves it is beneficial
  - For support of new services like ultra-reliable, low-latency communications, fixed wireless access
  - But it should be supported in co-existence with (v) EPC

➔ Should allow for independent evolution of RAN and CN



Initial phase (around 2020)

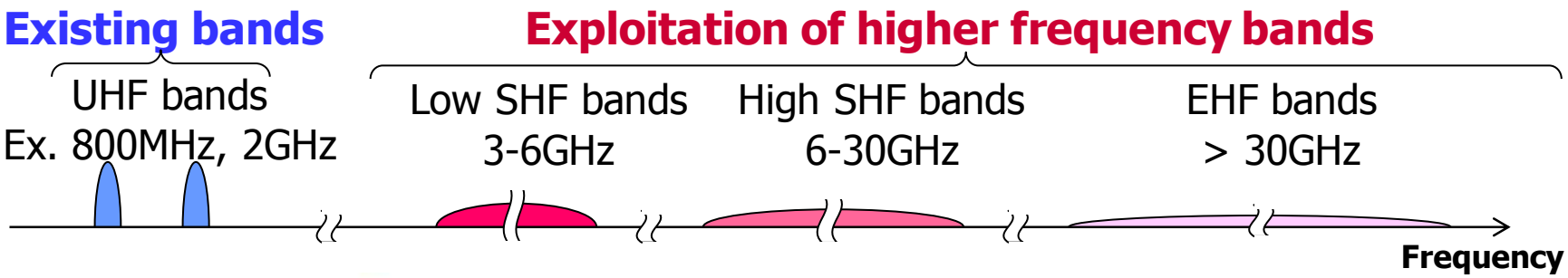


Later phase (around 202X?)

5G Trial Results

5G Experimental Trials 【w/ 13 vendors】

5G experimental trials are being started since Q4 of 2014



HUAWEI FUJITSU NEC ERICSSON SAMSUNG MITSUBISHI ELECTRIC NOKIA

Key devices/Chip sets vendors

intel QUALCOMM MEDIATEK

System solution vendors

Panasonic

Measuring instruments vendors

KEYSIGHT TECHNOLOGIES ROHDE&SCHWARZ

Observations from 5G Experimental Trials

- Capacity enhancement (Higher spectral efficiency)
  - Using large scale MU-MIMO, compared to LTE 4x4 MIMO, about 5 times spectral efficiency improvement can be achieved
- Higher data rate
  - 10Gbps is possible by the expected improvements in radio transmission capability and terminal chip performance
- Coverage for higher frequency bands
  - In LOS environment, about 500m coverage could be provided
  - In NLOS environment without reflectors, it is difficult to ensure coverage
  - In NLOS environment, with reflectors, it is possible to ensure coverage
    → In Urban areas where there are many reflectors, coverage can be ensured even in NLOS environment
- Blockage loss for higher frequency bands
  - Compared to lower frequency bands, sudden degradation of performance is observed
  - With reflectors, the level of degradation can be reduced

5G Experimental Trials: List of Publications

Ericsson

<Publications in English>

[1] T. Nakamura, Y. Kishiyama, S. Parkvall, E. Dahlman, and J. Furuskog, "Concept of Experimental Trial for 5G Cellular Radio Access," IEICE General Conference, B-5-58, Sept. 2014.

[2] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Parkvall, E. Dahlman, and J. Furuskog, "Field Experiments on 5G Radio Access Using 15-GHz Band in Outdoor Small Cell Environment," IEEE PIMRC 2015, Sept. 2015.

[3] D. Kurita, K. Tateishi, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Parkvall, E. Dahlman, and J. Furuskog, "Field Experiments on 5G Radio Access Using Multi-Point Transmission," IEEE Globecom 2015 Workshops, Dec. 2015.

[4] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, A. Simonsson, and P. Okvist, "Indoor Experiment on 5G Radio Access Using Beam Tracking at 15 GHz Band," IEEE PIMRC 2016, Sept. 2016.

[5] K. Tateishi, D. Kurita, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, S. Parkvall, J. Furuskog, and P. Naucler, "5G Experimental Trial Achieving Over 20 Gbps Using Advanced Multi-antenna Solutions," EEE VTC2016-Fall, Sept. 2016.

[6] D. Kurita, K. Tateishi, A. Harada, Y. Kishiyama, S. Itoh, H. Murai, A. Simonsson, and P. Okvist, "Indoor and Outdoor Experiments on 5G Radio Access Using Distributed MIMO and Beamforming in 15 GHz Frequency Band," IEEE Globecom Workshops, Dec. 2016.

<Publications in Japanese>

[1] 栗田 大輔, 原田 篤, 立石 貴一, 岸山 祥久, "15GHz帯における5G伝送実験装置による屋内伝搬測定," 電子情報通信学会2015年総合大会, 2015年3月.

[2] 立石 貴一, 原田 篤, 栗田 大輔, 岸山 祥久, "15GHz帯における5G伝送実験装置を用いた屋内伝送特性," 電子情報通信学会2015年総合大会, 2015年3月.

[3] 立石 貴一, 原田 篤, 栗田 大輔, 岸山 祥久, 奥村 幸彦, "15GHz帯を用いた5G無線アクセスにおける屋内スモールセル環境のTDリンク伝送実験結果," 信学技報, RCS2015-19, 2015年4月.

[4] 立石 貴一, 原田 篤, 栗田 大輔, 岸山 祥久, 奥村 幸彦, "15GHz帯5G無線アクセスの基地局アンテナ間隔に対するMIMO伝送実験評価," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, 2015年9月.

[5] 栗田 大輔, 立石 貴一, 原田 篤, 岸山 祥久, "15GHz帯を用いた5G伝送実験装置におけるマルチポイント送信の屋外伝送実験," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, 2015年9月.

[6] 立石 貴一, 原田 篤, 栗田 大輔, 岸山 祥久, "15GHz帯5G無線アクセスの電波暗室における Massive MIMOを用いたビームトラッキング特性の実験的評価," 信学技報, RCS2016-18, 2016年4月.

[7] 栗田 大輔, 立石 貴一, 原田 篤, 岸山 祥久, "15GHz帯5G伝送実験装置を用いた電波暗室における分散MIMO伝送実験," 電子情報通信学会2016年総合大会, 2016年3月.

[8] 立石 貴一, 栗田 大輔, 原田 篤, 岸山 祥久, "15GHz帯5G無線アクセスの電波暗室における Massive MIMOを用いたビームトラッキング特性の実験的評価," 電子情報通信学会2016年総合大会, 2016年3月.

[9] 立石 貴一, 栗田 大輔, 原田 篤, 岸山 祥久, "15GHz帯を用いた5G無線アクセスの屋内環境における ビームトラッキング特性の実験的評価," 信学技報, RCS2016-69, 2016年6月.

[10] 栗田 大輔, 立石 貴一, 原田 篤, 岸山 祥久, "5G無線アクセスにおけるTDリンク分散MIMOビームフォーミングの屋外伝送実験," 電子情報通信学会2016年ソサエティ大会, 2016年9月.

[11] 立石 貴一, 栗田 大輔, 原田 篤, 岸山 祥久, "5G無線アクセスにおけるTDリンクマルチ チユーザMIMOビームフォーミングの屋外伝送実験," 電子情報通信学会2016年ソサエティ大会, 2016年9月.

Fujitsu

<Publications in English>

[1] T. Seyama, M. Tsutsui, T. Oyama, T. Kobayashi, T. Dateki, H. Seki, M. Minowa, T. Okuyama, S. Suyama, and Y. Okumura, "Study of Coordinated Radio Resource Scheduling Algorithm for 5G Ultra High-Density Distributed Antenna Systems - Performance Evaluation of Large-Scale Coordinated Multi-User MIMO-" IEEE APWCS, July 2016.

<Publications in Japanese>

[1] 小林 泰寿, 澤本 敏郎, 須山 聡志, 伊達木 隆, 関 宏之, 小林 一成, 真鍋 守彦, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G超高密度セルにおける協調ビームフォーミングの検討と屋内実験," 信学技報, RCS2015-18, 2014年4月.

[2] 須山 聡志, 小林 泰寿, 伊達木 隆, 関 宏之, 真鍋 守彦, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G超高密度分散アンテナシステムにおける協調MU-MIMO送信の基礎検討," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, B-5-64, 2015年9月.

[3] 関井正文, 安藤和明, 秋山千代志, 伊達木隆, 関 宏之, 真鍋守彦, 奥山達樹, 須山 聡, 奥村幸彦, "5G超高密度分散アンテナシステムにおける広帯域MU-MIMO伝送特性の屋内実験検証," 信学技報, RCS2015-302, 2016年1月.

[4] 須山 聡志, 実川 大介, 小林泰寿, 大山 哲平, 伊達 木隆, 関 宏之, 真鍋 守彦, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G超高密度分散アンテナシステムにおける協調無線リソース制御アルゴリズムの検討 ～Joint Transmission Multi-User MIMO伝送方式の性能評価 ～," 信学技報, RCS2015-363, 2016年3月.

[5] 関井 正文, 稚崎聡 太郎, 秋山 千代志, 伊達 木隆, 関 宏之, 真鍋 守彦, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G超高密度分散アンテナシステムにおける大容量化技術の実験的検証 ～広帯域マルチユーザMIMO伝送の多重ユーザ数特性の屋内実験～," 信学技報, RCS2015-364, 2016年3月.

[6] 大山 哲平, 須山 聡志, 伊達 木隆, 関 宏之, 真鍋 守彦, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G 超高密度分散アンテナシステムにおける分散アンテナ ユニットを用いたアンテナ素子配置に関する検討," 信学技報, SR2016-33, 2016年7月.

Huawei

<Publications in English>

[1] A. Benjebbour, A. Harada, Y. Kishiyama, Y. Okumura, J. Ma, J. Qiu, D. Chen, and L. Lu, "Large Scale Experimental Trial of 5G Air Interface," IEICE Society Conference, Sept. 2015.

[2] A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, X. Wang, X. Hou, H. Jiang, J. Ma, J. Qiu, D. Chen, L. Lu, and T. Kashima, "Experimental Trial of Large Scale Downlink Massive MIMO," IEICE General Conference, Mar. 2016.

[3] X. Wang, X. Hou, H. Jiang, A. Benjebbour, Y. Saito, Y. Kishiyama, J. Ma, J. Qiu, H. Shen, C. Tang, T. Tian, and T. Kashima, "Experimental Trial of Large Scale Downlink MU-MIMO with Non-linear Precoding Schemes" IEICE General Conference, Mar. 2016.

[4] P. Guan, X. Zhang, G. Ren, T. Tian, A. Benjebbour, Y. Saito, and Y. Kishiyama, "Ultra-Low Latency for 5G – A Lab Trial," IEEE PIMRC, Sept. 2016.

[5] X. Wang, X. Hou, and H. Jiang, A. Benjebbour, Y. Saito, and Y. Kishiyama, J. Qiu, H. Shen, C. Tang, T. Tian, and T. Kashima, "Large Scale Experimental Trial of 5G Mobile Communication Systems—TDD Massive MIMO with Linear and Non-linear Precoding Schemes," IEEE PIMRC, Sept. 2016.

[6] T. Kashima, J. Qiu, H. Shen, C. Tang, T. Tian, X. Wang, X. Hou, H. Jiang, A. Benjebbour, Y. Saito, and Y. Kishiyama, "Large Scale Massive MIMO Field Trial for 5G Mobile Communications System," ISAP, Oct. 2016.

[7] D. Wu, X. Zhang, J. Qiu, L. Gu, Y. Saito, A. Benjebbour, and Y. Kishiyama, "A Field Trial of f-OFDM Toward 5G," EEE Globecom, Dec. 2016.

[8] B. Zhang, H. Shen, B. Yin, L. Lu, D. Chen, T. Wang, L. Gu, X. Wang, X. Hou, H. Jiang, A. Benjebbour, and Y. Kishiyama, "A 5G Trial of Polar Code," EEE Globecom, Dec. 2016.

<Publications in Japanese>

[1] 齊藤 祐也, ベンジャブール アナス, 原田 篤, 岸山 祥久, 奥村 幸彦, 中村 武宏, 荷 恵玲, 王 新, Jianglei Ma, Jing Qiu, Dageng Chen, Lei Lu, 鹿島 毅, "TDD上りリンク伝送におけるFilter ed OFDMの屋外実験," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-32, 2016年3月.

[2] 齊藤 祐也, ベンジャブール アナス, 岸山 祥久, 王 新, 倫 暁林, 荷 恵玲, Jianglei Ma, Jing Qiu, Dageng Chen, Lei Lu, 鹿島 毅, "5GにおけるeMBB及びUbTeをサポートするための無線アクセス要素技術に関する屋外伝送実験," 信学技報, RCS2016-17, 2016年4月.

NEC

<Publications in English>

[1] B. Pitakdumrongkija, N. Ishii, K. Yamazaki, K. Nakayasu, T. Okuyama, S. Suyama, and Y. Okumura, "Outdoor Experiment of Beamforming in 28 GHz Band for 5G Systems," IEICE Society Conference, B-5-77, Sept. 2016.

<Publications in Japanese>

[1] シン キユン, 須山 聡, 丸田 靖, 奥村 幸彦, "5 GHz帯超多素子アンテナを用いた5G基地局伝送実験," 電子情報通信学会2015年総合大会, B-5-93, 2015年3月.

[2] シャン イー, 丸田 靖, 星月 拓志, 平部 正司, シン キユン, 須山 聡, 奥村 幸彦, "超多素子アンテナ試作ビーム多重動作検証," 電子情報通信学会2015年総合大会, B-5-94, 2015年3月.

[3] 奥村 幸彦, 須山 聡, 丸田 靖, 佐藤 健文, 寺田 純, 大高 明浩, "5G実現に向けた低SHF帯超多素子アンテナ技術とビーム制御技術の研究開発," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-1, 2016年3月.

[4] 山崎 健一郎, ピタクダンロンキジャー プンサーン, 奥山 達樹, 中安 かなた, 佐藤 健文, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G大容量無線アクセス実現に向けた電波 伝搬実験の概要," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-2, 2016年3月.

[5] 丸田 靖, 佐藤 健文, 須山 聡, 奥村 幸彦, "超多素子アンテナを用いた簡素ディスパリー技術の研究開発," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-9, 2016年3月.

[6] 奥山 達樹, 山崎 健一郎, 須山 聡, 吉岡 翔平, 増野 淳, 小原 辰則, ピタクダンロンキジャー プンサーン, 奥村幸彦, "5G低SHF帯Massive MIMOにおける実伝搬データを用いた特 性評価," 信学技報, RCS2016-41, 2016年5月.

[7] 山崎 健一郎, 佐藤 健文, 久保 将太, 丸田 靖, 奥山 達樹, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5G低SHF帯超多素子アンテナを用いたDL MU-MIMO屋内実験," 電子情報通信学会2016年ソサイエティ大会, B-5-78, 2016年9月.

Nokia

<Publications in English>

[1] Y. Kishiyama, T. Nakamura, A. Ghosh, and M. Cudak, "Concept of mmW experimental trial for 5G radio access," EICE Society Conference, B-5-58, Sept. 2014.

[2] Y. Inoue, Y. Kishiyama, Y. Okumura, J. Kepler, and M. Cudak, "Experimental Evaluation of Downlink Transmission and Beam Tracking Performance for 5G mmW Radio Access in Indoor Shielded Environment," IEEE PIMRC, Sept. 2015.

[3] Y. Inoue, Y. Kishiyama, S. Suyama, J. Kepler, M. Cudak, and Y. Okumura, "Field Experiments on 5G mmW Radio Access with Beam Tracking in Small Cell Environments," IEEE Globecom Workshops, Dec. 2015.

[4] J. Wellkenper, J. Koppenborgy, J. Bazzi, R. Rheinschmitty, K. Kusume, D. Samardzija, R. Fuchsy, and A. Benjebbour, "Hardware Experiments on Multi-Carrier Waveforms for 5G," IEEE WCNC, Apr. 2016.

[5] S. Yoshioka, Y. Inoue, S. Suyama, Y. Kishiyama, Y. Okumura, James Kepler, and Mark Cudak, "Field Experimental Evaluation of Beamtracking and Latency Performance for 5G mmWave Radio Access in Outdoor Mobile Environment," IEEE PIMRC Workshops, Sept. 2016.

[6] M. Cudak, T. Kovarik, T. A. Thomas, A. Ghosh, Y. Kishiyama, and T. Nakamura, "Experimental mm wave 5G cellular system," EEE Globecom Workshops, Dec. 2014.

<Publications in Japanese>

[1] 馬 耕紹, 井上 祐樹, 岸山 祥久, "ミリ波帯5G無線アクセス伝送実験に関するシールドルーム環境における レンズアンテナを用いた下りビームフォーミング およびスループット特性 評価," 電子情報通信学会2015年信学総大, B-5-98, 2015年3月.

[2] 井上 祐樹, 岸山 祥久, 須山 聡, "屋内シールドルーム環境における5Gミリ波無線アクセスの下り伝送およびビーム追従 特性の実験評価," 信学技報, RCS2015-126, 2015年6月.

[3] 井上 祐樹, 岸山 祥久, 須山 聡, 奥村 幸彦, "下りビームフォーミングを用いる5Gミリ波帯無線アクセスに おける屋外スモールセル環境でのスループット特性の実 験評価," 電子情報通信学会2015年信学ソ大, B-5-72, 2015年9月.

[4] 井上 祐樹, 吉岡 翔平, 岸山 祥久, 須山 聡, 奥村 幸彦, "都市部ストリート環境およびショッピングモール 環境における5Gミリ波無 線アクセスのビーム追従 およびスループット特性 実験評価," 電子情報通信学会2016年信学総大, B-5-26, 2016年3月.

[5] 吉岡 翔平, 井上 祐樹, 岸山 祥久, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5Gミリ波無線アクセスにおける屋外見通し環境のビーム追従性 能の走行実験 評価," 電子情報通信学会2016年信学総大, B-5-27, 2016年3月.

[6] 吉岡 翔平, 井上 祐樹, 岸山 祥久, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5Gミリ波無線アクセスにおける屋内見通し環境のマルチユーザ伝送 実験評価," 電子情報通信学会2016年信学ソ大, B-5-35, 2016年9月.

Mitsubishi Electric

<Publications in English>

[1] A. Taira, H. Iura, K. Nakagawa, S. Uchida, K. Ishioka, A. Okazaki, S. Suyama, Y. Okumura, and A. Okamura, "Evaluation of Multi-Beam Multiplexing Technologies for Massive MIMO System Based on the EHF-band Channel Measurement," APCC2015, Oct. 2015.

[2] A. Taira, H. Iura, K. Nakagawa, S. Uchida, K. Ishioka, A. Okazaki, S. Suyama, T. Obara, Y. Okumura, and A. Okamura, "Performance Evaluation of 44GHz Band Massive MIMO Based on Channel Measurement," IEEE Globecom2015, Dec. 2015.

<Publications in Japanese>

[1] 中川 雅治, 井浦 裕貴, 平 明徳, 石岡 和明, 岡崎 彰浩, 須山 聡, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "5G超大容量Massive MIMO伝送における44GHz帯屋外基礎実験に基づいたアンテナ構 成評価" 信学技報, RCS2015-24, 2014年5月.

[2] 須山 聡, 小原 辰徳, 岡崎 彰浩, 中川 雅治, 井浦 裕貴, 平 明徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦, 石岡 和明, "5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44 GHz帯屋外基礎実験(1)," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, B-5-69, 2015年9月.

[3] 岡崎 彰浩, 中川 雅治, 井浦 裕貴, 平 明徳, 石岡 和明, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44 GHz帯屋外基礎実験(2)," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, B-5-69, 2015年9月.

[4] 中川 雅治, 岡崎 彰浩, 井浦 裕貴, 平 明徳, 石岡 和明, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "5G超大容量マルチビーム多重伝送のための44 GHz帯屋外基礎実験(3)," 電子情報通信学会2015年ソサエティ大会, B-5-69, 2015年9月.

[5] 井浦 裕貴, 平 明徳, 中川 雅治, 内田 繁, 石岡 和明, 森重 秀樹, 岡崎 彰浩, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "[依頼講演]44GHz帯電波伝搬測定に基づくMassive-MIMOシステムの性能 評価," 信学技報, SR2015-115, 2016年3月.

[6] 井浦 裕貴, 内田 繁, 平 明徳, 岡崎 彰浩, 須山 聡, 小原 辰徳, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "5GにおけるSHF帯・広帯域Massive MIMOのチャネル相関に基づくユーザ選択," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-12, 2016年3月.

[7] 内田 繁, 岡崎 彰浩, 須山 聡, 奥村 幸彦, "5Gにおける高SHF帯・広帯域Massive MIMO技術の研究開発概要," 電子情報通信学会2016年総合大会, B-5-10, 2016年3月.

[8] 内田 繁, 井浦 裕貴, 岡崎 彰浩, 佐藤 圭, 増野 淳, 須山 聡, 奥村 幸彦, 岡村 敦, "5Gにおける高SHF帯・広帯域Massive MIMO実証装置向け下り復調用参照信号の検討," 電子情報通信学会2016年ソサイエティ大会, B-5-81, 2016年9月.

Samsung Electronics

<Publications in English>

[1] T. Obara, Y. Aoki, S. Suyama, J. Shen, J. Lee, and Y. Okumura, "28 GHz Band Experimental Trial for 5G Cellular Systems," B-5-95, IEICE General Conference, Sept. 2015.

[2] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee, and Y. Okumura, "Indoor and Outdoor Experimental Trials in 28-GHz Band for 5G Wireless Communication Systems," IEEE PIMRC2015, Sept. 2015.

[3] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Shen, J. Lee, and Y. Okumura, "Experimental Trial for 5G Systems Using 28 GHz Band -Part I-," IEICE RCS2015-20, Apr. 2015.

[4] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Shen, J. Lee, and Y. Okumura, "Experimental Trial for 5G Systems Using 28 GHz Band -Part II-," IEICE RCS2015-21, Apr. 2015.

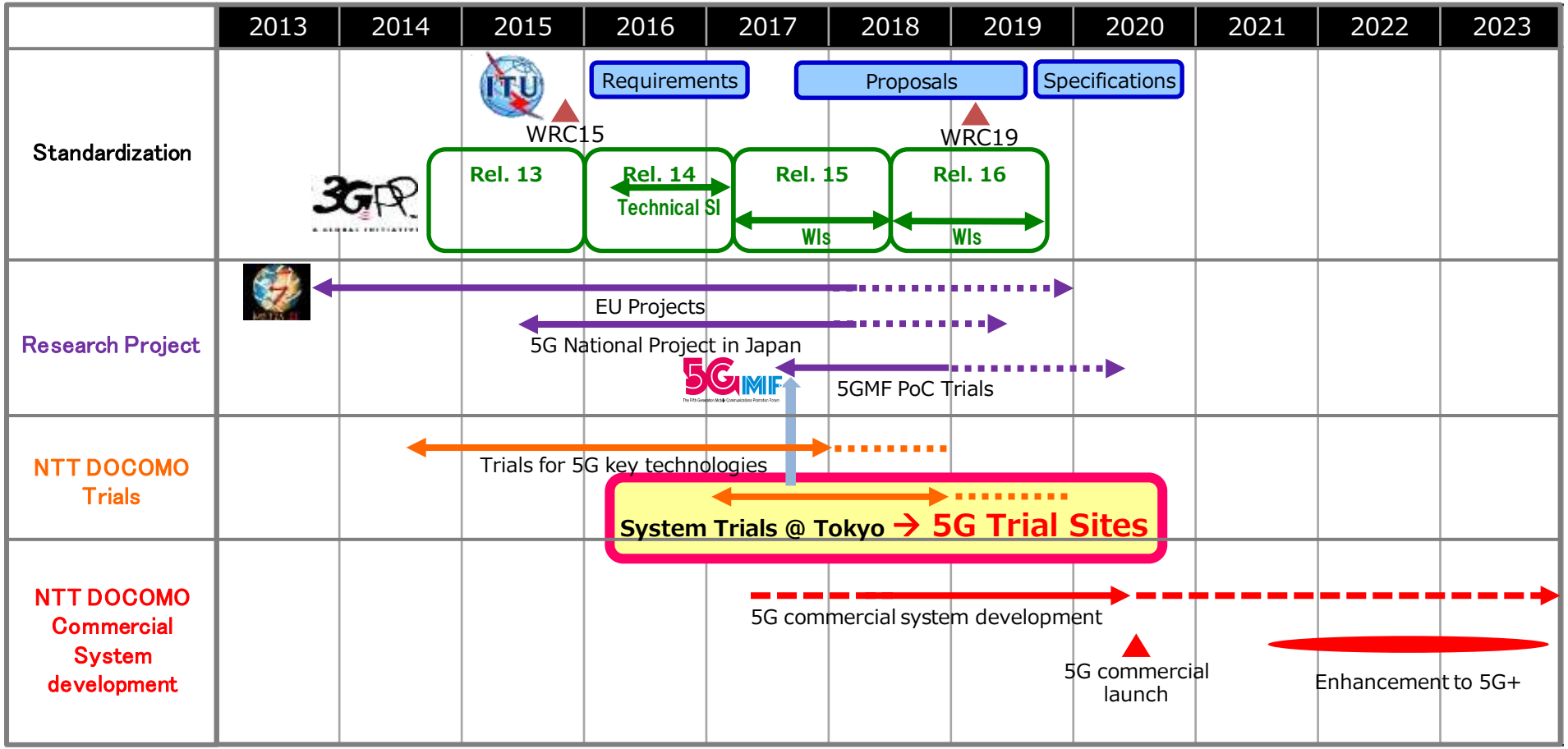
[5] T. Obara, T. Okuyama, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee, and Y. Okumura, "Outdoor Experiment of Beamforming in 28 GHz Band for 5G Systems," IEICE Society Conference, B-5-68, Sept. 2015.

[6] T. Obara, Y. Inoue, Y. Aoki, S. Suyama, J. Lee, and Y. Okumura, "Experiment of 28 GHz Band 5G Super Wideband Transmission Using Beamforming and Beam Tracking in High Mobility Environment," IEEE PIMRC2016, Sept. 2016.

https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/tech/5g/docomo_5GTrials_List_of_Publications_English.pdf

5G Trial Sites

Time schedule for 5G deployment in 2020



5G Trial Sites Press Release

NTT docomo

Search

Press Releases

November 9, 2016

DOCOMO to Launch 5G Trial Environments that Enable Customers to Experience New Services and Content
—Will Collaborate with Ericsson and Intel on Initial 5G Trial Sites—

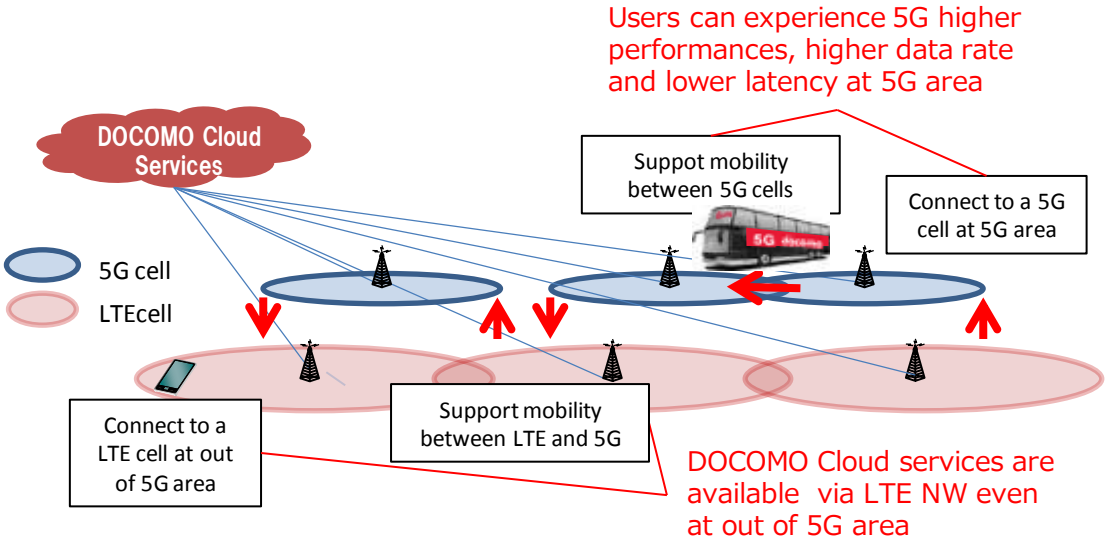
Print Tweet Like 0 G+1 0 R&D

TOKYO, JAPAN, November 9, 2016 --- NTT DOCOMO, INC. announced today that from May or later in 2017 it will commence delivery of trial environments for 5G mobile communications in Japan, working in conjunction with various partners in industries such as automobiles, railways and broadcasting. The 5G Trial Sites, which will enable customers to experience services and content leveraging 5G technology, will be the latest step toward a commercial 5G system that DOCOMO expects to launch in 2020.

The initial 5G Trial Sites will be offered mainly in two districts of Tokyo, the Odaiba waterfront and Tokyo SKYTREE TOWN. The sites will leverage the 5G radio network expertise of Ericsson and the 5G client leadership of Intel, the world's largest semiconductor manufacturer. For communications, DOCOMO plans to utilize the 28GHz frequency band, one of the candidate bands that the Ministry of Internal Affairs and Communications is considering to designate for commercial 5G networks in Japan.

NTT DOCOMO 5G Trial Sites

The 5G Trial Sites will be offered mainly in two distinct of Tokyo, the Odaiba waterfront and Tokyo SKYTREE TOWN from May, 2017



Support mobility between 5G and commercial LTE NW
Utilize 28 GHz and 4.5 GHz frequency bands

Extend collaboration with partner companies for creation of 5G Services

- NTT DOCOMO is collaborating vertical players shown in below table to create better 5G services efficiently
- We will collaborate with more vertical players of various industries
- We will support the 5GMF PoC Trial based on these collaborations

Industry	Company	Overview of collaboration
Automotive	DENSO	Investigation on impact of mobile communication latency to car control
	DeNA Robot Taxi	Remote monitoring and assistance for self-driving vehicle
Railway	TOBU group	Collaboration for 5G trial site at Tokyo SKYTREE Town, Live distribution of VR contents
Others	ALSOK	Security and safety services using high definition video
	TOPPAN	Distribution of high quality VR contents
	JDI	Future services utilizing advanced display technologies
	CRESCENT	Free viewpoint live distribution
	Bright System 株式会社ブライトシステム	Services utilizing face recognition technologies
	NS Solutions	Remote control system for variety of machines in factory