

Beyond
5G

将来ネットワークアーキテクチャを先取りする 迅速展開性ファースト・キャンパステストベッド構想

2022/2/10

東京大学 総長特任補佐

次世代サイバーインフラ連携研究機構 機構長

東京大学工学系研究科 教授

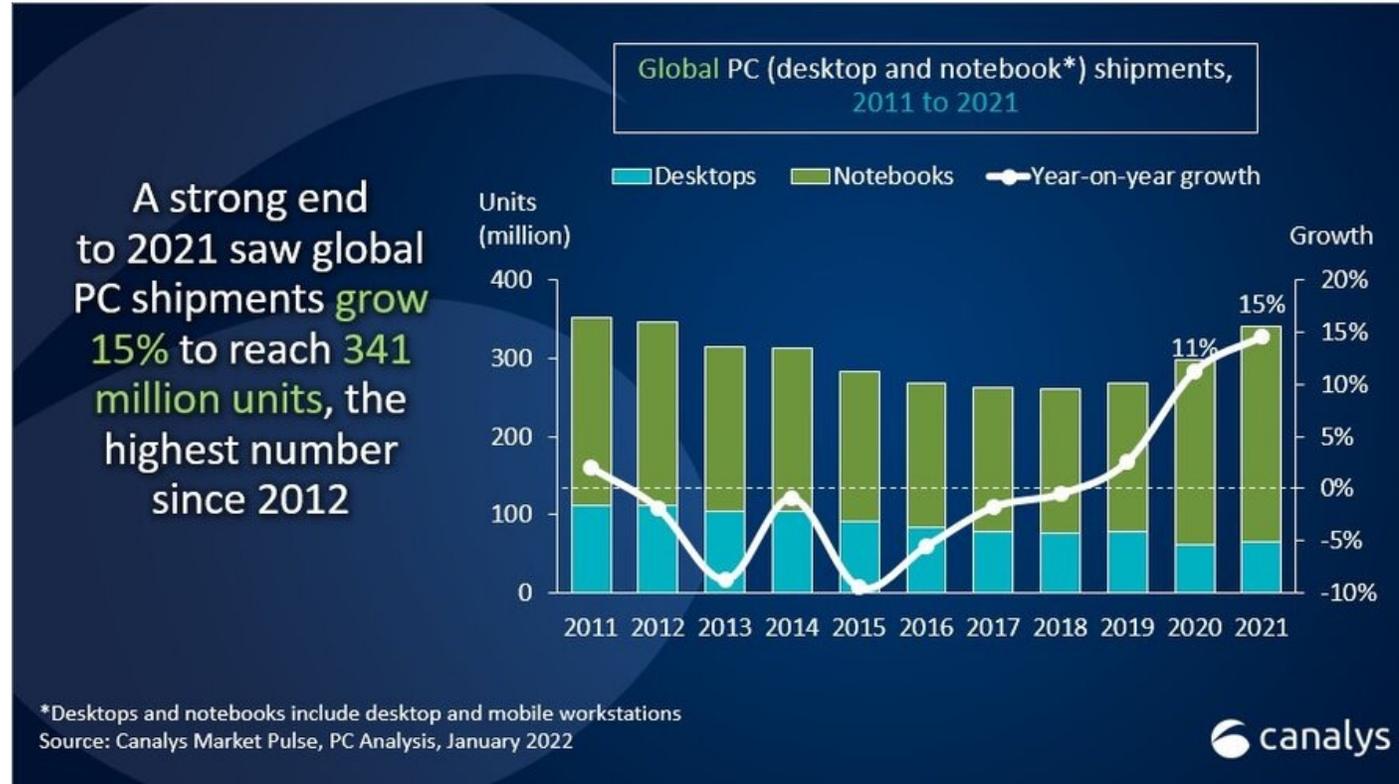
中尾彰宏

お伝えしたいこと

- 将来ネットワークアーキテクチャにおいて考えるべきこと
 - RANスライスを含むE2Eスライスアーキテクチャが理想形
 - オール光・無線統合におけるマイグレーションシナリオが必要
 - 「ファーストマイル」の進化を考える必要
 - 迅速展開可能・継続進化が重要であり「柔軟進化可能なインフラ」が必要
- 迅速展開性戦略
 - 「インフラのデジタル化」
ソフトウェア化・カスタム可能ハードウェアによる進化の加速が重要
 - 次世代のオープンインタフェースが重要（協調領域と競争領域）
 - キャンパステストベッドの活用・規制緩和が必要
 - 人材育成・産学人材循環（ハード・ソフト両方でシステムを創成できる人材）が重要

新しいB5Gネットワークアーキテクチャへの「マイグレーション」シナリオの必要性

コロナ禍が産んだ新たな潮流：デジタルトランスフォーメーションからデジタルアクセラレーションへ
コロナ禍で2021年のPC出荷台数は3億4105万3000台と過去10年で最高の伸び率



- インフラがB5Gへ向かって進化する一方で「ファーストマイル」は従来型のインターフェースの有無線端末が爆発的に増加しつつある
- オール光に有線で直収可能な端末への切り替えはすぐにはチャレンジングな可能性

理想形：無線・光融合によるE2Eスライスネットワークアーキテクチャ

- 低周波数を利用するモバイルネットワークは「面」で構成可能
- 高周波数利用が進むとE2E「大容量化」によりファーストマイル無線と光の有線の融合が合理的
- ファーストマイルでスポット的な高周波数利用と面的な低周波数利用の併用が必要
- 全ての端末の有線の光パス収容がすぐには実現しないとすると、端末は無線で収容しRANスライスを含む無線・光のE2EのQoS保証型のスライスアーキテクチャが理想

ファーストマイル無線 + 高速大容量有線 = 無線・光融合E2Eスライスアーキテクチャ

超分散するスポット的な高周波無線
面的な低周波無線

+

低消費電力・大容量有線
(光パス・パケットスライス)

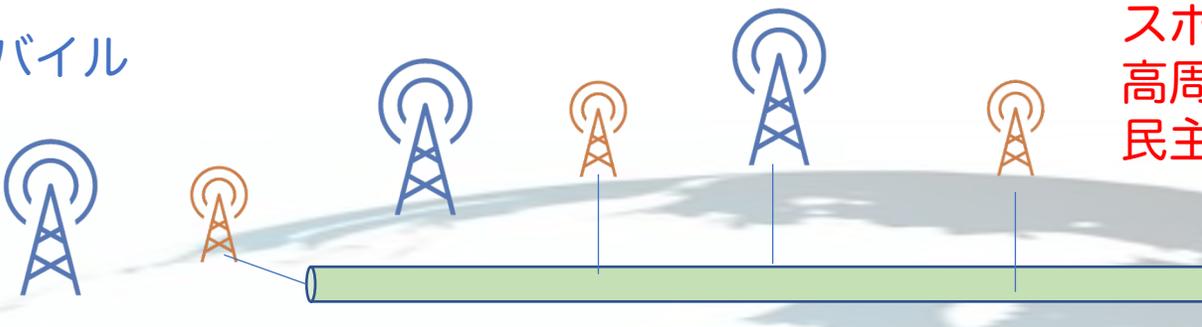
オール光パスへの移行と「並行」して、「ファーストマイル」無線での
(1)トラフィック分離 (2) 有線は、光パスと従来のパケットスイッチのスライスアーキテクチャが合理的

これらを考慮すると「ファーストマイル」で多くの進化が重要となる

注)ラストマイルという呼び方は通信業界の目線であるためここではファーストマイルと呼ぶ

「ファーストマイル」の進化

面を作るモバイル



スポット的
高周波数
民主化

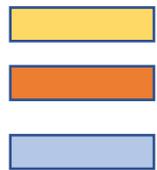
従来モバイル網



パケットスイッチ・光通信基盤



将来アーキテクチャ



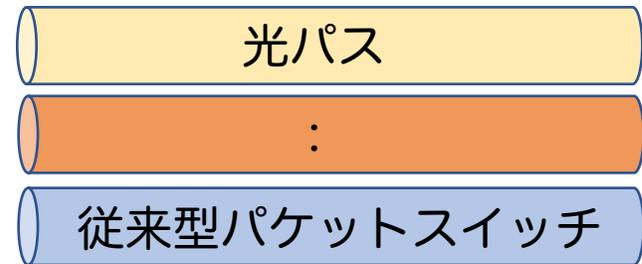
RANスライス
基地局設備共用



E2Eスライス接続



光通信基盤

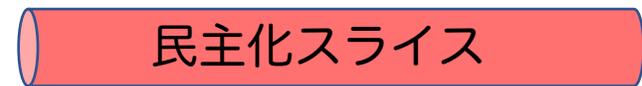


スライシング
による
リソース
アイソレーション

Coloring (UE/AP)

トラフィック分離 (Classification) とスライス収容

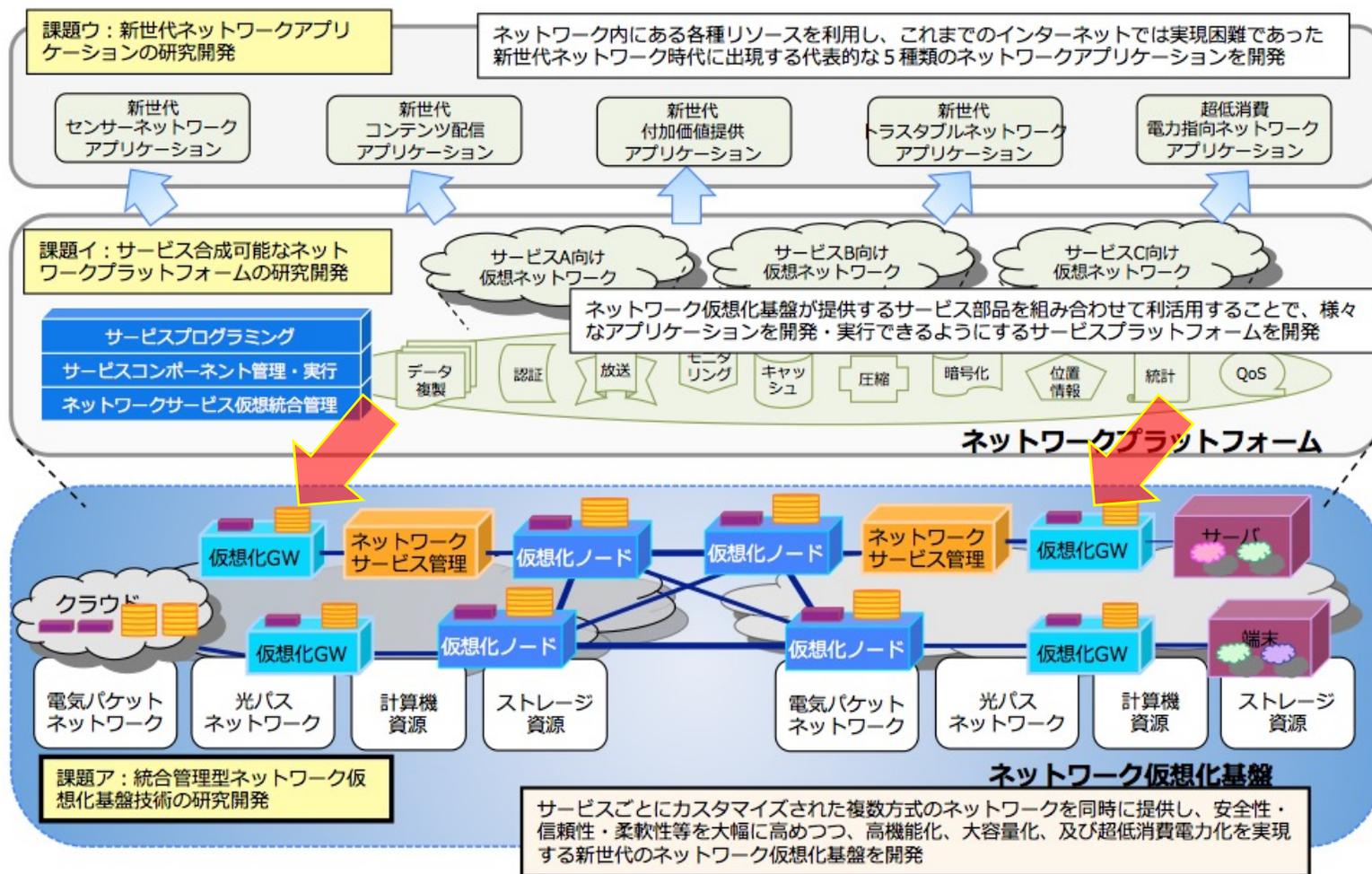
スポット的高周波数モバイルアクセスの民主化・カスタム可能ハードウェアと柔軟なソフトウェアの螺旋進化



Clean Slate Design of the Internet

仮想化GWの部分がマイグレーションシナリオに該当
現代になってRANスライス基地局へと変容

■ 課題ア・イ・ウの位置づけ



主要な成果

- 情報通信基盤に「仮想化」という概念を定義し国内外に学術分野を確立
- 産学連携で諸外国と対等に渡り合える「仮想化技術」(SDN/NFV)の素地を形成
- 国際標準化に貢献 ITU勧告 SG13 (Y.3000-)
- 「新世代」のネットワークにおける産学官連携のモデルケースの確立

B5Gではミッションクリティカルなユースケースへの対応が新付加価値を生む

ミッションクリティカル：

業務遂行（mission）に必要不可欠（critical）であること

人間の生命維持、事業や組織などの存続に影響を与える障害や誤作動などが許されないこと

特に、医療ヘルスケア・先進モビリティ・製造マニュファクチャリングなど、多くの産業分野において、安全・安心（セキュリティ・セーフティ高度化）・高可用性・低遅延保証・帯域保証などの特徴を持った通信が必須と認識されている

また、セキュアなプライベートネットワークが動的に生成され、課題解決に必要な通信品質を迅速に提供可能なネットワークアーキテクチャが望まれている

→有無線統合QoS保証のプライベートネットワーク（スライス）の動的生成

→課題解決に応じて、迅速展開可能・継続進化する「柔軟・迅速進化可能なインフラ」が必要

次世代ネットワークアーキテクチャ要件・まとめ

- 「ファーストマイル」の民主化を含め次世代基地局・端末のあり方を考える必要がある
- 継続進化・マイグレーションシナリオが重要
- RANスライスを含め有無線統合QoS保証のプライベートネットワーク（スライス）動的生成が必須
- カスタム可能ハードウェアと柔軟なソフトウェアの螺旋進化により
迅速展開可能・継続進化する「柔軟・迅速進化可能なインフラ」が必要
- 通信事業者や一般事業者など多くのステークホルダーが共創して新たなエコシステムを形成する民主的な（ローカル5Gからローカル6G、そして6Gに至る）課題駆動型のネットワークアーキテクチャ研究開発が望まれる

お伝えしたいこと

- 将来ネットワークアーキテクチャにおいて考えるべきこと
 - RANスライスを含むE2Eスライスアーキテクチャが理想形
 - オール光・無線統合におけるマイグレーションシナリオが必要
 - 「ファーストマイル」の進化を考える必要
 - 迅速展開可能・継続進化が重要であり「柔軟進化可能なインフラ」が必要

迅速展開性戦略

- 「インフラのデジタル化」
 - ソフトウェア化・カスタム可能ハードウェアによる進化の加速が重要
- 次世代のオープンインタフェースが重要（協調領域と競争領域）
- キャンパステストベッドの活用・規制緩和が必要
- 人材育成・産学人材循環（ハード・ソフト両方でシステムを創成できる人材）が重要

Beyond 5Gに求められる機能等

※ 緑字は、我が国が強みを持つ又は積極的に取り組んでいるものが含まれる分野の例

時空間同期
(サイバー空間を含む。)

テラヘルツ波

センシング

Beyond 5G

オール光ネットワーク

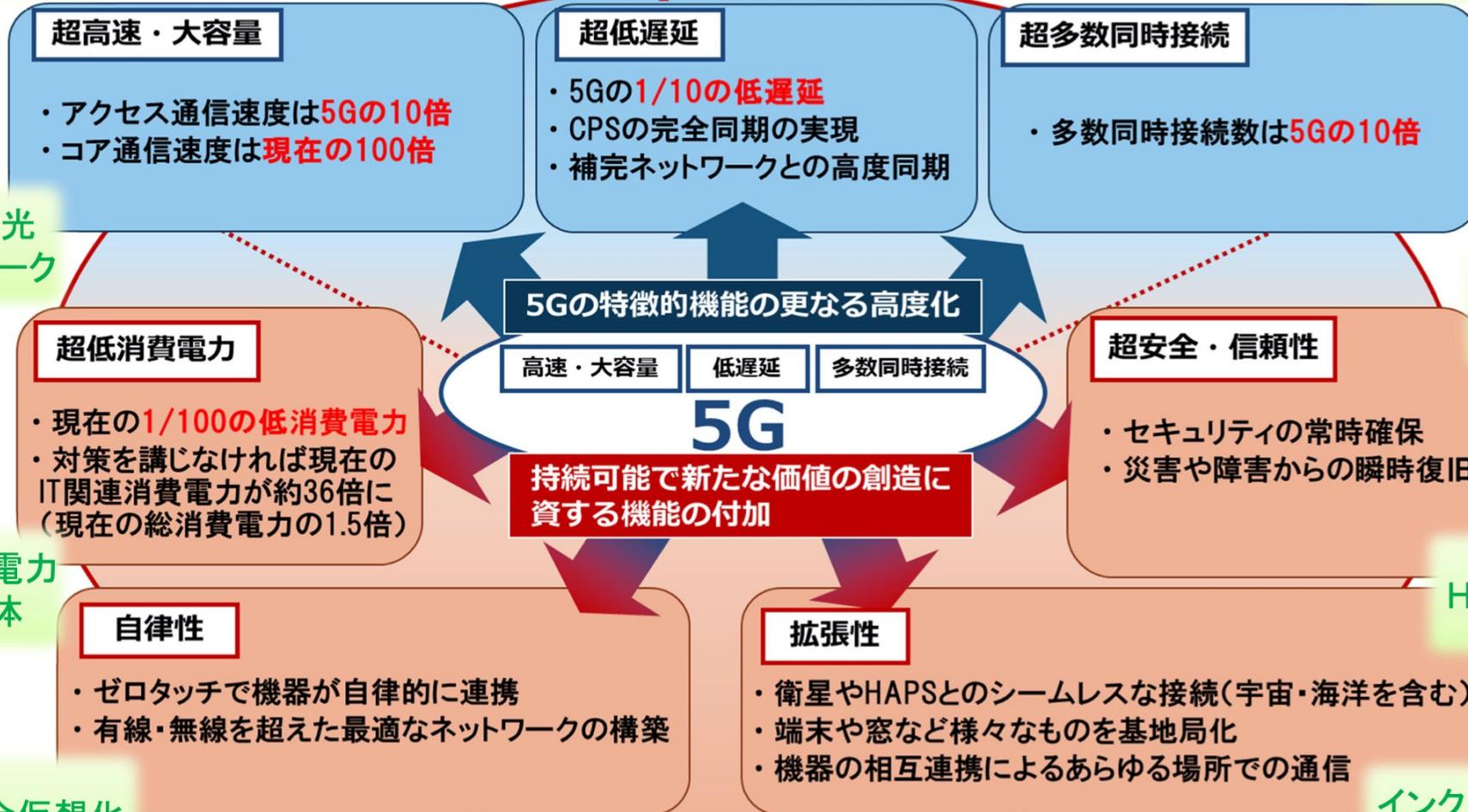
量子暗号

低消費電力半導体

HAPS活用

完全仮想化

インクルーシブ
インターフェース



Beyond5Gのネットワークインフラの進展

情報通信を取り巻く社会の構造変化

今後も継続進展するであろう様々な「変化」が観測されている

大局的な方向性

- **通信とバーティカルの融合**：通信を提供する側と享受する側の明確な境界がなくなり多様な基本サービス提供
- **バーティカルファースト**：バーティカルのユースケースドリブンの通信インフラ構築へ移行する

細分化された方向性

- **モバイルへのシフト**→無線品質が有線に近づき、ユーザーは固定系から**利便性の高いモバイルへ移行(B5G/6G)**
- **データ集約へのシフト**→ビッグデータの有用性・サービスコストの低減の要求から**データセンターの重要性**
- **集約と分散のバランスへのシフト**→データ集約の有用性の一方で低遅延や帯域の削減の要請から**エッジ計算融合**
- **低遅延通信へのシフト**→制御や一次応答(First Response)等の人体でいうところの**脊髄反射機能**
- **多数接続へのシフト**→モノとモノ、モノとコト（データ）同士の通信の台頭 (**Super IoT**)
- **自動化へのシフト**→人知を超える機械学習適用によりネットワーク運用・設計の最適化(**考えるネットワーク**)
- **情報通信の民主化へのシフト**→提供する主体・享受する主体の融合、細分化 (**プライベートネットワーク**)

情報通信技術のKPIの進化

従来のKPIの高度化を進めると同時に
新たな社会情勢に臨機応変にKPIを進化させる必要がある。

(注釈) 2022年現在「展開性」とは「迅速展開性」
インフラの”デジタル化”と換言できる
ソフトウェア化・カスタム可能ハードウェアの統合
アプローチによる進化の加速が重要

- 1-1. 大容量 (コア)
- 1-2. 大容量 (アクセス)
- 2. 省電力化
- 3. 超低遅延
- 4. 柔軟性・高弾力性
- 5. 高効率データ流通
- 6. 安全・信頼性

従来のKPIの高度化

- 1-1. 大容量 (コア)
- 1-2. 大容量 (アクセス)
- 2. 省電力化
- 3. 超低遅延
- 4. 柔軟性・高弾力性
- 5. 高効率データ流通
- 6. 安全・信頼性

社会の構造変化により新たに生じるKPI

- 7. 自動化 (Automation)
- 8. 未開拓領域(incognito)通信
- 9. 展開性(Deployability)
(どれだけ簡単に「作れる」か?)

特に、自動化には機械学習・AIの適用が必要、

展開性は「情報通信の民主化」に貢献

オープンインターフェースの進化 Open RANからよりグローバルなOpen RAN++へ



INDICO-ICTSTANDARDS.EU

Second EU-Japan Workshop on beyond 5G Standards

Policy makers, regulators, industry and stakeholders from Japan and the EU w...

Open RANの欧州への拡大の可能性を話題提供

QUADのOpen RANの動向に対し、欧州は、短期的には賛同だが、
新たな6G向けのグローバルなオープンインターフェースに興味を示す

考えられる方向性の一例

- ローカル5Gは、国際的にも「民主化」の動きで日本が先行した例として注目される
- 6G Flagshipは「新たなステークホルダーによる新たなエコシステムの創成」としてローカル5Gに注目
- ローカル5Gからローカル6Gという流れの中で6Gにおけるオープンインターフェースである**OpenRAN++ (仮称)**を国際連携で研究開発する
- デファクト・デジュールに向けた苗床としてローカル5G/ローカル6Gを活用
O-RAN++準拠・ローカル6G次世代基地局

協調領域・競争領域とは

(注：個人的な見解)

- 協調領域

技術開発において競合企業間で共有して利活用可能な技術分野を互いに協調して仕様策定し、開発することで、**コスト低減や業界全体の進化を加速**することが可能な技術領域

- 競争領域

技術開発において競合企業間で、**新規性や独創性を追求して他社を上回る市場割合や利益を獲得**するため、競争を行うべき技術領域

オープン・クローズド戦略とは

(注：個人的な見解)

・ オープン戦略

オープンソースやオープンインターフェースを活用して
自発的かつ合理的なサプライチェーンを構築することで、通信事業者が複数の機器提供事業者から
共通仕様の機器を調達可能とし、また、さらに構成要素技術レベルでのモジュール代替性を実現す
ることで構成要素レベルでの市場形成を狙う戦略

・ クローズド戦略

事業者が独自の製品の構成要素技術や製造技術、運用技術などの仕様を公開することなく、秘匿し
たまま、他の事業者に提供することで、製品・製造・運用などにおける差異化要素を保持したまま
その競争力を行使する戦略

どちらにおいても迅速展開性(Rapid Deployability) は競争力を生むと考えられる

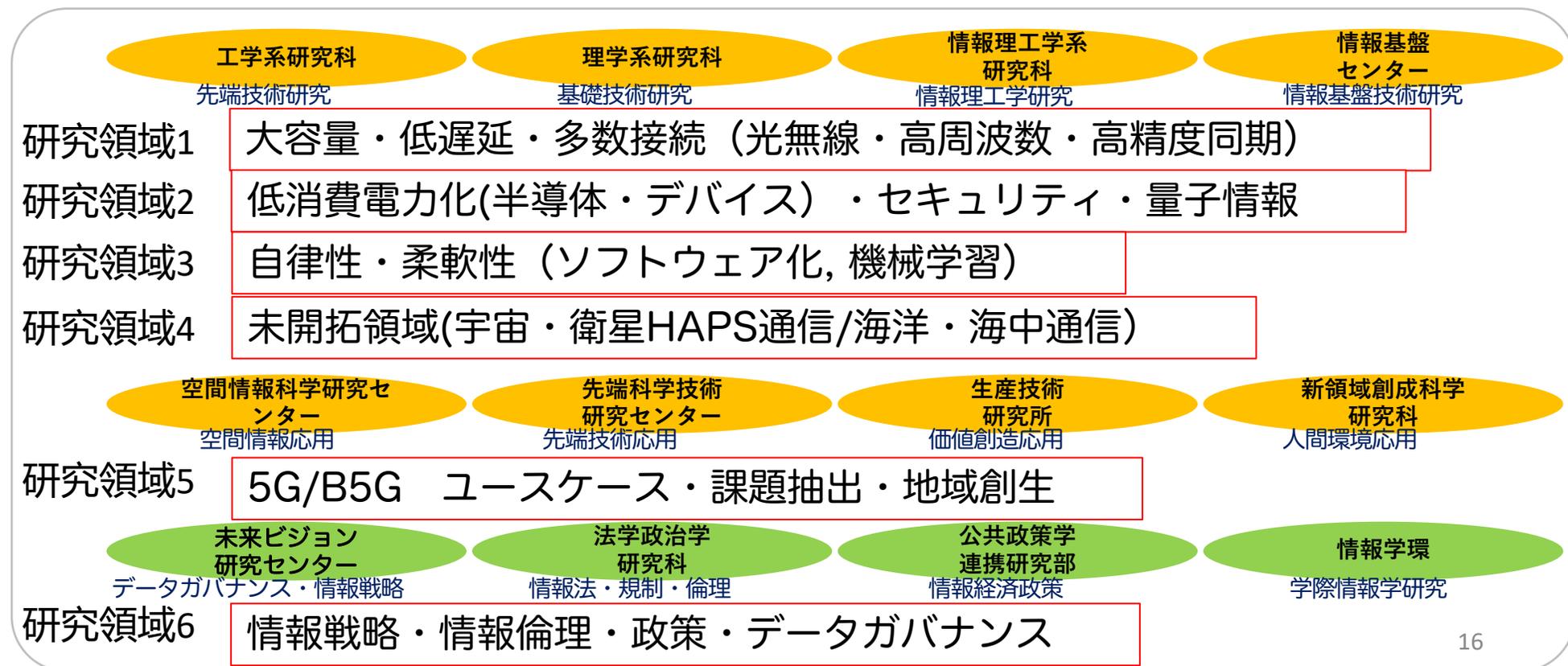
特にオープン・協調領域戦略においては、ソフトウェア化・ハードウェアカスタム化を駆使する
ハードソフト統合螺旋進化による迅速展開性を加速するテストベッド環境が必要

次世代サイバーインフラ連携研究機構

<https://cyber.nakao-lab.org>

2021/4/1 設立

サイバー空間を現実世界（フィジカル空間）と一体化させる知識集約型社会のバックボーンとして中核的な役割を担う5G/Beyond5Gをはじめとする次世代サイバーインフラ実現のための連携研究に取り組む。多様な観点から本学の総合知を活かし、技術の研究開発だけではなく、カーボンニュートラル・グリーンリカバリーなどの地球環境へ配慮、誰も取り残すことのない包摂性と高度な倫理と技術の社会受容性・合意形成の考慮を含む横断的アプローチで次世代サイバーインフラの構築を加速し我が国の国際連携・産学官民連携を牽引するフラッグシップとなる組織を目指す



B5GのR&Dにおける公共財としての大学の役割

過去の実績

2011-2014 NICT委託研究【新世代ネットワーク】
ネットワーク仮想化・スライス技術を産学連携6社で推進

1. 新世代の情報通信技術の先導的研究

過去の実績

2016-2019 総務省委託研究【5GPagoda】
5Gスライシング技術を日欧連携産学11社で推進

2. 学術界の繋がりを活用する国際連携

現在進行中

東京大学・連携研究機構

3. 未来社会協創を実現する若手人材育成

現在進行中

Local5Gの実証
Local6Gからの6G

4. 情報通信の迅速な革新推進のための民主化アプローチ

構想・予定

B5G基金を活用する研究成果の
キャンパス展開

5. キャンパス・テストベッドによる新技術の苗床

Beyond 5G 時代に向けた新ビジネス戦略セミナー（第7回） 「Beyond 5G時代における産学連携の在り方」開催

セミナー概略

Beyond 5Gが、既存の5Gモバイルネットワークの高度化に加えて、社会基盤となるべく、その利用の多様化が進展していくことを踏まえれば、産学官が連携し、技術開発や知財標準化活動を戦略的に推進していくことが一層重要となります。

そこで本セミナーでは、Beyond 5G時代における産学連携の在り方をテーマとして取り上げます。基調講演として、東京大学大学院工学系研究科 中尾教授より、次世代サイバーインフラ連携研究機構の取組についてご紹介いただき、パネルディスカッションでは、産学連携によるBeyond 5G・ローカル5Gのプロジェクトの事例紹介を踏まえ、産学連携の重要性やB5Gへの期待、今後の知財・標準化の方向性等について議論を行います。

基調講演 「次世代サイバーインフラ連携研究機構の取り組み」		
	中尾 彰宏	東京大学大学院工学系研究科 教授
パネルディスカッション 「産学連携によるBeyond 5G・ローカル5Gのプロジェクト紹介と今後の展望」		
モデレーター		
	中尾 彰宏	東京大学大学院工学系研究科 教授
パネリスト（五十音順）		
	新井 智也	大阪大学NEC Beyond 5G協働研究所 副研究所長 NEC 新事業推進本部本部長
	串山 久美子	東京都立大学 システムデザイン研究科 教授
	小林 真也	愛媛大学大学院 理工学研究科 電子情報工学専攻教授

パネル議論の結論

新しい産学連携のあり方

- キャンパスを共創の場
- 多面的人材の育成
- 人材循環による産学ギャップの解消

B5Gにおける海外のテストベッドによる研究開発アプローチ

- PAWR (US) 都市を丸ごとテストベッド(4都市) 一部キャンパステストベッド
- 5GTN (Finland) 6G Flagship Project において産学連携の苗床 キャンパステストベッド
- 5GTT (UK) 5Gのテストベッド・トライアル Local5G実証 一部キャンパステストベッド
- 5G/6G CAMPUS TESTBED (UK) University of Surrey キャンパステストベッド

<https://www.surrey.ac.uk/institute-communication-systems/facilities/campus-testbed>

インフラのソフトウェア化のプロジェクトが下支えをしている



Strategic Member



Founding Member



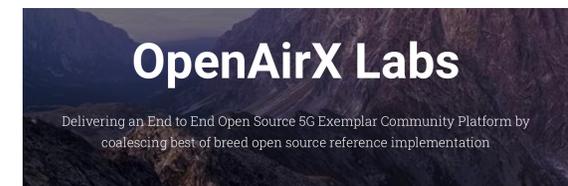
Academic Member



Academic Member



Academic Member



従来のテストベッドの課題はユーザーが不在だと無益であること
最初からユーザーが存在する産学連携の可能性が高い国家プロジェクトと組み合わせる必要がある
→キャンパステストベッドの有用性

迅速展開性ファーストのB5Gキャンパステストベッド構想

新たな発想をとにかく迅速に社会実装しフィードバックを早回しする戦略

- 総合大学として最先端の多様な学術が集約（文理融合）
- B5Gネットワークアーキテクチャ技術の苗床（Local6Gから6G）
- 新しいオープンインターフェースの提案（OpenRAN++ for 6G）
- キャンパスを社会の縮図とする技術の社会受容性検証
- 若手人材育成(Project Based Learning)と中堅シニア産学人材循環
- ソフトウェア・カスタム可能ハードウェアを統合するシステム創成人材の育成
- Global Fellow など卓越人材を呼び込み、大学から輩出する双方向性の国際連携を推進

例

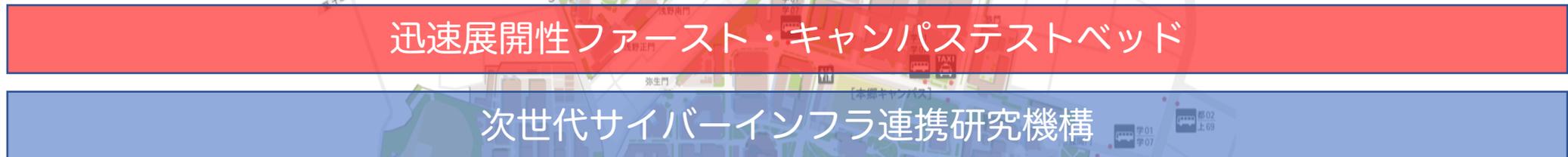
- 高周波数利用
- メタマテリアル（材料）
- 建築 × 情報通信
- データガバナンス・倫理

など

クローズ
競争領域



オープン
協調領域



国策への期待： キャンパステストベッド環境構築支援・NICTなど国研との共創・電波利用の民主化など

まとめ

- 将来ネットワークアーキテクチャにおいて考えるべきこと
 - RANスライスを含むE2Eスライスアーキテクチャが理想形
 - オール光・無線統合におけるマイグレーションシナリオが必要
 - 「ファーストマイル」の進化を考える必要
 - 迅速展開可能・継続進化が重要であり「柔軟進化可能なインフラ」が必要
- 迅速展開性戦略
 - 「インフラのデジタル化」
ソフトウェア化・カスタム可能ハードウェアによる進化の加速が重要
 - 次世代のオープンインタフェースが重要（協調領域と競争領域）
 - キャンパステストベッドの活用・規制緩和が必要
 - 人材育成・産学人材循環（ハード・ソフト両方でシステムを創成できる人材）が重要

A1/A2 講義名称：次世代サイバーインフラ Beyond5G 特論

(学部科目：国際連携工学特別講義 IV、大学院科目：国際連携特別講義 X)

-
- 科目番号、科目名 **国際連携工学特別講義 IV、大学院科目：国際連携特別講義 X)**
 - 開講曜限 火曜日 4 限
 - 担当教員 中尾彰宏(システム創成学専攻・教授)
 - 単位数 2
 - 講義内容等詳細(以下の通り)
-

概要：

世界同時に発生した新型コロナウイルス感染症への対応として、遠隔会議・遠隔教育などのテレワークが新常态(ニューノーマル)として認識され、また、SDGs の 1 つである強靱な情報通信インフラ整備の必要性が再認識されつつある。2020 年に商用化された 5G は、大容量・超低遅延・超多数接続を実現する革新的な移動通信であり、これを自営網として活用するローカル 5G への期待が高まっている。また、さらに今後 10 年をかけて Beyond5G.6G と呼ばれる新たな情報通信インフラへの研究開発が世界で始まりつつある。本講義は、これらの情報通信の進化を俯瞰し、これからの 10 年、新常态における革新的な情報通信の利活用方法を、地域創生や地域課題解決、そして、社会が Society5.0 Ready となるための強靱なインフラの必要性を、産業界や政府・地方自治体・国際組織からの講師の知見より網羅的に議論する。

(参考) 講義内容

5G 基礎

- 5Gの基礎技術とB5Gに向けた研究開発動向【学術視点】 (中尾彰宏 工学系研究科)
- 5Gの標準化と商用化・今後の展開1【産業視点】 (中村武宏 NTTドコモ執行役員)
- 5Gの標準化と商用化・今後の展開2【産業視点】 (大谷朋広・小西聡 KDDI 技術開発本部シニア・ディレクター)
- 5Gの標準化と商用化・今後の展開3【産業視点】 (佃 英幸 ソフトバンク専務執行役員 兼 CTO)
- 5Gの標準化と商用化・今後の展開4【産業視点】 (内田信行 楽天モバイル株式会社執行役員 技術戦略本部 本部長)
- 5G・B5Gの政策と戦略【政府視点】 (竹内芳明 総務省総務審議官)
- 海外における5G/6G研究開発と今後【国際視点】 (Matti Latva-Aho 教授 Finland 6G Flagship Director)
- 海外における5G/6G研究開発と今後【国際視点】 (Abhimanyu Gosain 教授 United States PAWR Director)

5G応用

- 次世代通信による自動運転・協調運転【学術視点】 (中野公彦教授 生産技術研究所)
- 新常态における仮想社会【学術視点】 (稲見昌彦教授 先端科学技術研究センター)
- B5Gと半導体戦略【学術視点】 (黒田忠広教授 工学系研究科)
- 宇宙・海洋通信【学術視点】 (中須賀真一教授 工学系研究科)
- 宇宙探査・サイエンス【学術視点】 (宮本英昭 教授 工学系研究科)