

Beyond 5Gへの挑戦

～分散OSの黎明期からSociety5.0を俯瞰して～

国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事長
慶應義塾大学 名誉教授

徳田英幸

自己紹介

- **学歴**

- 1975 慶應義塾大学工学部管理工学科卒業
- 1977 慶應義塾大学大学院工学研究科修士課程修了
- 1983 カナダ・ウオータールー大学計算機科学科博士課程修了
(Ph.D. in Computer Science)

- **職歴**

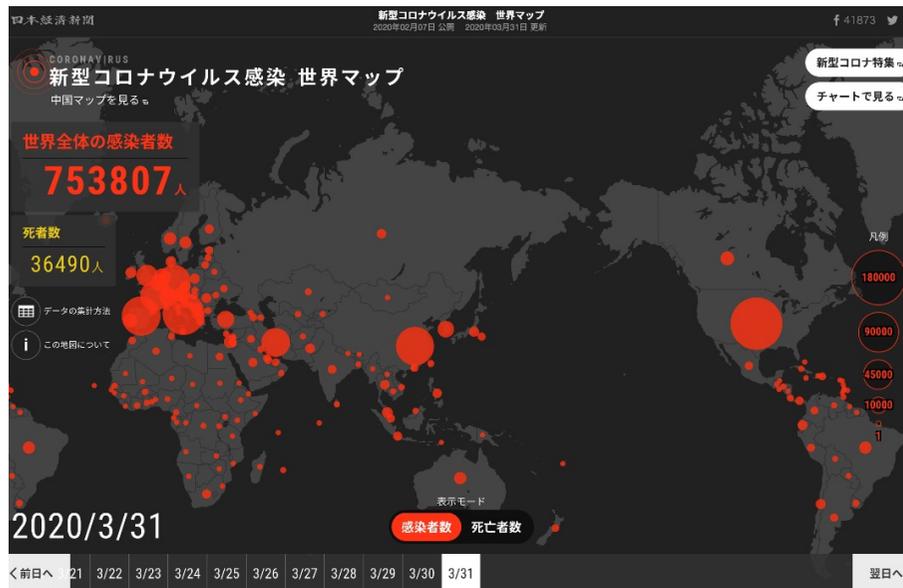
- 1983 米国・カーネギーメロン大学計算機科学科
- 1990 慶應義塾大学環境情報学部（兼任）
- 1997 慶應義塾常任理事
- 2017 国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事長

- **プロフェッショナルな活動**

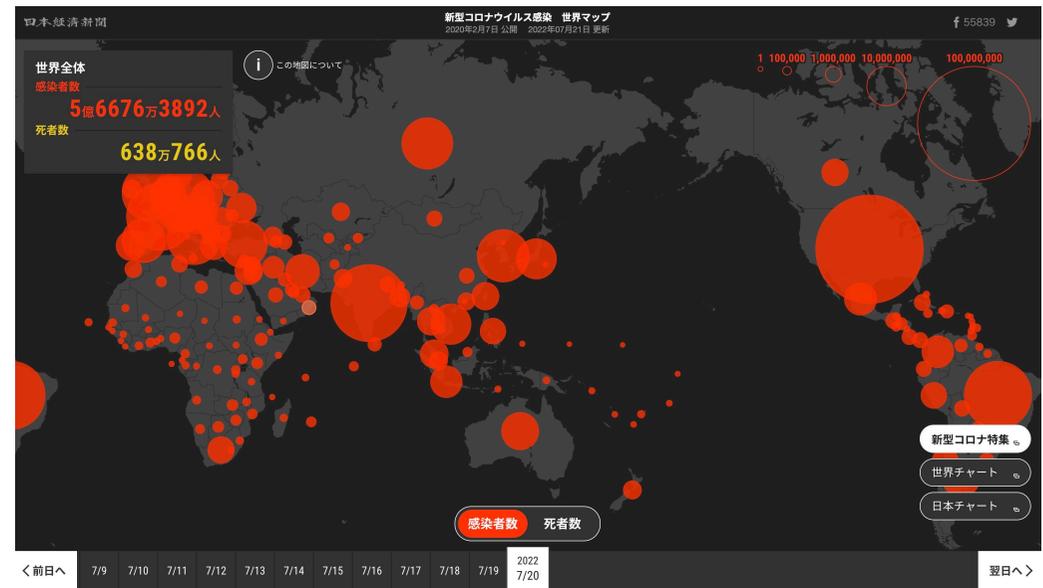
- 2021～ 情報処理学会会長
- 2020～ Beyond 5G推進コンソーシアム副会長
- 2019～ JSTさきがけ「IoTが拓く未来」研究総括
- 2018～2020 日本学術会議第三部副部長、情報学委員会委員長
- 2015～ スマートIoT推進フォーラム 座長
- 2014～（一社）重要生活機器連携セキュリティ協議会(CCDS)会長
- 2011-2016 内閣サイバーセキュリティセンター・サイバーセキュリティ補佐官

新型コロナウイルス(COVID-19)のインパクト

- 世界全体の累計数で5億6676万人以上が感染、死者は638万人を上回る状況 (~7/20/2022)
- 世界各国がパンデミックに直面し、アナログ・対面からデジタル・オンラインへとシフト
- ICTの力でアフターコロナ社会にむけて社会の**デジタルトランスフォーメーション**が重要



(4/1/2020)



(7/20/2022)

(出典 <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-world-map/>)

ロシアによるウクライナ侵攻

- 2022年2月26日フョードロフ副首相がStarlink社のイーロンマスク氏にTwitterで利用を要請
- 10時間半後にサービスが開始され、多数のStarlink機材がウクライナに搬入され5月2日時点で、約15万人のユーザが利用
- 携帯の基地局が多く倒壊し、受信エリア外となった地域での電話通信をバックアップ



Mykhailo Fedorov @FedorovMykhailo
Ukraine government official



The village of Ivankiv, Kyiv region, right after RU occupation. Operation of electricity and mobile communications has not been yet restored, but Starlink came on time. Locals finally are able to tell relatives that they are alive. Thanks @elonmusk, your help is priceless for UA.



午前4:55 · 2022年4月8日



Mykhailo Fedorov @FedorovMykhailo
Ukraine government official



Rough data on Starlink's usage: around 150K active users per day. This is crucial support for Ukraine's infrastructure and restoring the destroyed territories. Ukraine will stay connected no matter what.



午後10:14 · 2022年5月2日



社会インフラとしての 情報通信インフラの重要性

- もしも、ウクライナ側からの情報が世界に発信されていなかったら？
- ロシアのプロパガンダの拡散やフェイクニュースの検証の難しさ
- 地上系ネットワークだけでなく、**非地上系ネットワーク(NTN)**の重要性
- ウクライナ政府の公式アプリ「Diia（ディーア）」は、法的効力をもつ身分証、被災補償の申請、受信困難地域でのTV視聴など、戦禍でも有効な70以上の機能を備え、1500万人以上の国民が利用

カーボンニュートラル、SDGsも重要課題

- COP26での議論（英国王立協会レポート：**Computing for Net Zero**）
- Green by ICT
 - ICTの利用により、カーボンフットプリントの縮小（エネルギー、移動、製造、etc）
- Green of ICT
 - Green Computing and Communication
 - オール光ネットワーク
 - 光電融合技術
 - **Beyond 5G**への期待



Outline

▶ Beyond 5Gへの挑戦

- ▶ B5Gの研究開発とその動向
- ▶ 未来社会のデザイン
- ▶ B5G研究開発促進事業

▶ ICT進化の流れ

- ▶ コンピューティングとコミュニケーションの進化
- ▶ 分散OSの黎明期と日米間の橋渡し
- ▶ スマートシティプロジェクト
- ▶ これからの学会

▶ まとめ

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）の概要

NICT: National Institute of Information and Communications Technology

ICT分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関

NICTの概要

- 所在地: 本部 東京都小金井市
- 役職員数: 約1200名
- 研究者数: 約730名
- 予算: R4年度運営交付金 282.5億円+外部資金
- 第5期中長期計画: 令和3年4月～令和8年3月



公的サービス:

- 日本標準時
- 宇宙天気予報
- 無線機器較正業務
- サイバー演習業務
- 人材育成 (SecHack365, NQC等)

重点5分野:

- 電磁波先進技術分野
- 革新的ネットワーク分野
- サイバーセキュリティ分野
- ユニバーサル
コミュニケーション分野
- フロンティアサイエンス分野

研究開発支援:

- B5G研究開発促進事業
- 国内ICT R&D支援事業
- US-Japan Projects
- EU-Japan Projects
- ASEAN-IVO Projects
- Taiwan-Japan Projects

B5G: レースは始まっている!

Beyond 5G / 6G に関する取組の状況

- 2018年頃から6Gの実現に向け有望と考えられる通信技術について学術的な議論が各地で活発に行われているほか、ユースケースや要求条件に関する議論も始まっている。

国際電気通信連合 (ITU)

- 2018年7月、2030年以降に実現されるネットワークの技術研究を行うFocus Group NET-2030をITU-T SG13に設置。
- 2019年5月、白書「Network 2030」を公表。

韓国

- **LG電子**：2019年1月、「6G研究センター」を設置。
- **Samsung電子**：2019年6月、6Gコア技術の開発のための研究センターを立ち上げ。

日本

- **NICT**：2018年7月、欧州委員会と連携してテラヘルツ波end-to-endシステムの開発研究を開始。Beyond 5Gを見据えワイヤレス、ネットワーク、デバイスなど研究開発を推進中。
- **NTT**：2019年6月、6Gを見据えたネットワークの構想「**IOWN**」を発表。2019年10月、米インテル、ソニーと次々世代の通信規格での連携を発表。
- **NTTドコモ**：2020年1月、2030年頃のサービス提供開始を目指し、6Gに向けた技術コンセプト（ホワイトペーパー）公開。

フィンランド・ドイツ他

6 Genesisプロジェクト

- フィンランド・アカデミーとOulu大学が立ち上げた6Gの研究開発プロジェクト。2018-2026年の8年間で251M€(300億円)規模の予算を獲得。
- 2019年9月に白書「Key Drivers and Research Challenges for 6G Ubiquitous Wireless Intelligence」を公表
- EuCNC & 6G Summit (2021年6月開催予定 EU通信会議とOulu大学 **6G Flagship**共催)

6G Research Hub (ドイツ)

- **BMBF** が 6G-life, 6G-RIC, 6GEM, Open6GHubを設置
- **BMBF** が6G Platform and 6G Industry projectsを開始

中国

工業情報化部(MIIT)

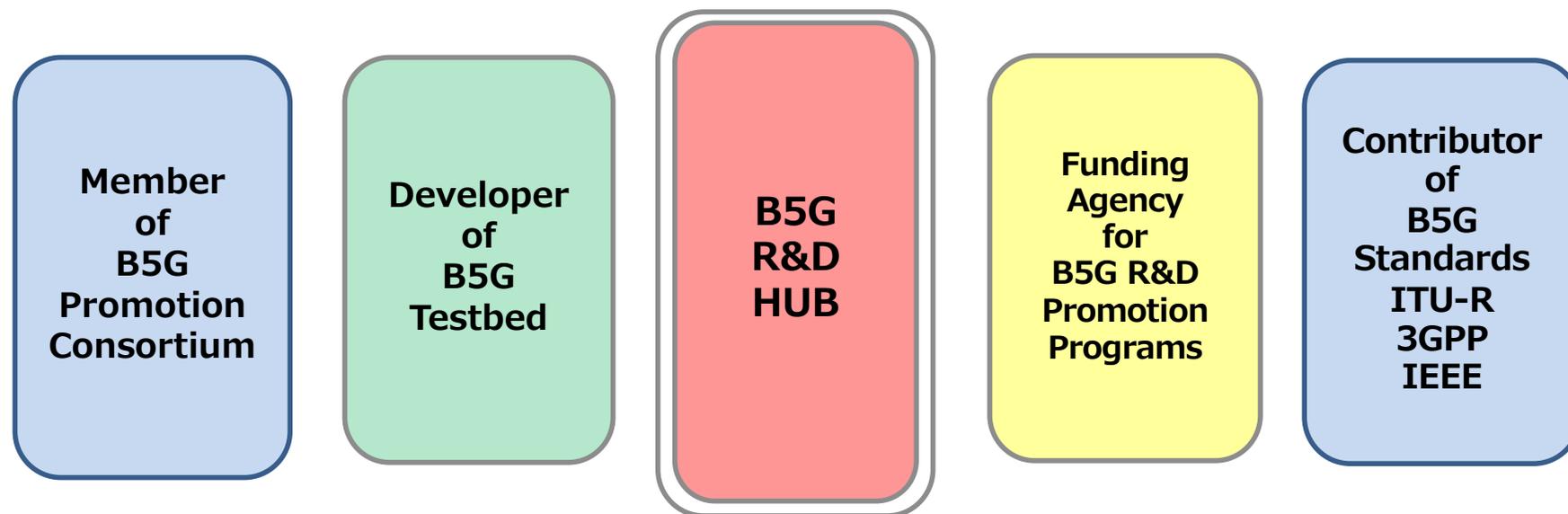
- 2018年11月、MIITのIMT-2020無線技術開発グループリーダーが、「6Gの開発が2020年に正式に始まる」、「2030年に実用化し、通信速度は1Tbpsに達するだろう」とコメント。
- **科学技術部(MOST)**
 - 2019年11月、6Gの研究開発の開始を発表。あわせて2つの組織（「6G研究推進の責任主体となる政府系の機関」、「37の大学や研究機関、企業からなる技術的組織」）を立ち上げ。
- **華為技術**
 - 2019年11月の会長コメント「6Gは研究の初期段階。6Gで使用が想定される周波数の特性や技術的課題の研究、経済的、社会的利益に焦点を当てた研究チームを任命した」

米国

- 2019年2月、大統領が6Gへの取組強化をツイート。3月にFCCは研究用途のテラヘルツ利用の開放を決定。
- ニューヨーク大、DARPAが無線（テラヘルツ波）とセンサー技術の研究拠点「ComSenTer」を立ち上げ。UCサンタバーバラ、UCB、UCSD、コーネル大、MITが参加。
- **NextGアライアンス**の設置、6Gシンポジウム（2020年10月）

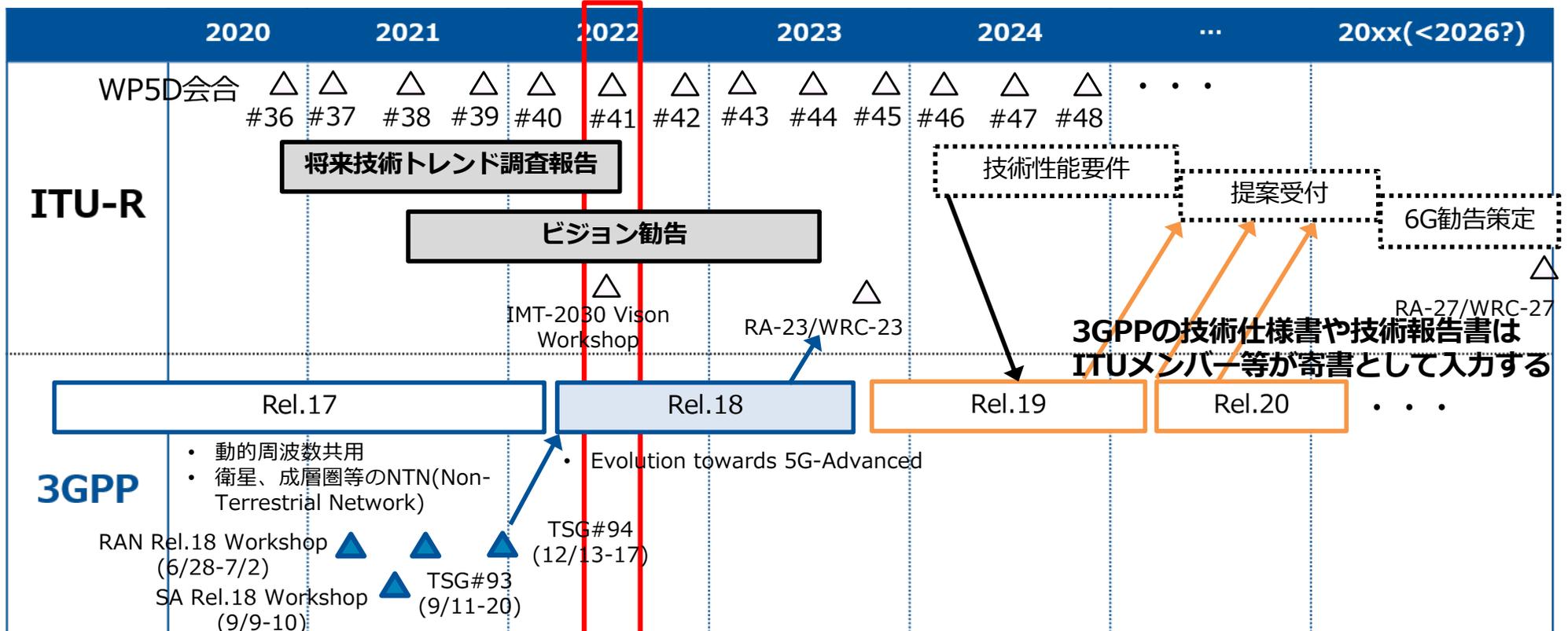
B5G/6G研究開発におけるNICTの役割

- NICT は、日本におけるB5G/6G R&D HUB
- NICT は、研究開発されている機関にB5G/6G Testbedを公開
- NICT は、B5G/6G 研究開発促進事業を実施しているファンディング機関
- NICT は、B5G/6G推進コンソーシアムのメンバー
- NICT は、B5G/6G標準へのコントリビュータ (ITU-R, 3GPP, IEEE, etc)



Beyond 5G/6Gの標準化活動

- ITU-R SG5 WP5Dでは**6G**の技術に関する将来**技術トレンド調査報告**を検討し、2022年6月完成予定。並行して**ビジョン勧告**の検討を2021年6月から開始し、**2023年6月**に策定予定。
- NICTからはBeyond 5Gに関連する技術シーズとして、テラヘルツ、時空間同期、非地上通信ネットワーク（NTN）を中心に2021年3月から提案文書を入力して議論に参加。



NICT/総務省

民間企業等

NICTの技術シリーズに関する標準化関連提案

Radiocommunication Study Groups



Received: 22 February 2021

Document 5D/440-E
22 February 2021
English only

TECHNOLOGY ASPECTS

Communications Technology (NICT)

PROPOSAL FOR WORKING DOCUMENT TOWARDS PRELIMINARY DRAFT
NEW REPORT ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS
2030 AND BEYOND]

At the 34th meeting of Working Party (WP) 5D in February 2020, WP 5D agreed the detailed work plan and scope for the preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND]. At the 38th meeting in March 2021, WP 5D developed the initial outline and scope of the working document and further discuss at this meeting.

TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND]

Technical aspects of IMT systems beyond. It includes information on technical and operational characteristics of terrestrial IMT systems, including the evolution of IMT through advances in technology and spectrally efficient techniques, and their deployment."

This document proposes some updates for the working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND], which is updated from previous National Institute of Information and Communications Technology (NICT) 's contribution (Document 5D/440).

10 ms, that is p scheme is the m and mMTC as w nt for synchroniz

◀ ITU-R WP5Dへの提案文書(5D/440, 5D/609)

テラヘルツ、時空間同期、非地上通信ネットワーク (NTN) のBeyond5G/6G実現に向けた貢献について提案。

▼ 3GPP SA Rel.18 Workshopへの提案文書 (SP-210612)

時空間同期技術による超低遅延と高精度位置測位技術の提案。

Radiocommunication Study Groups



Received: 28 May 2021

Document 5D/609-E
28 May 2021
English only

TECHNOLOGY ASPECTS

National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

PROPOSAL FOR WORKING DOCUMENT TOWARDS PRELIMINARY DRAFT
NEW REPORT ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS
2030 AND BEYOND]

1 Introduction

At the 34th meeting of Working Party (WP) 5D in February 2020, WP 5D agreed the detailed work plan and scope for the preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND]. At the 38th meeting in March 2021, WP 5D developed the initial outline and scope of the working document and further discuss at this meeting.

The provisionally agreed scope of the new Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND] is as follows:

"This Report provides a broad view of future technical aspects of terrestrial IMT systems considering the time-frame up to 2030 and beyond. It includes information on technical and operational characteristics of terrestrial IMT systems, including the evolution of IMT through advances in technology and spectrally efficient techniques, and their deployment."

This document proposes some updates for the working document towards a preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT.FUTURE TECHNOLOGY TRENDS TOWARDS 2030 AND BEYOND], which is updated from previous National Institute of Information and Communications Technology (NICT) 's contribution (Document 5D/440).

2 Proposal

As NICT has proposed some structures and texts for the draft working document at the previous WP 5D meeting, we propose to further updates based on Attachment 5.7 of Document 5D/545.

NICT is of the view to update the current draft working document as follows:

- Existing Section 6.5, Sub-section 6.5.2, 6.5.3(former 6.5.1 and 6.5.2), and new 6.5.1 should be explained the technology related to Terahertz Communications.
- Section 5.12 and 6.12 should explain the technology related to Wireless Space-Time Synchronization.

3GPP SA Rel-18 workshop
Virtual meeting, 09-10 Sep. 2021
Agenda Item 3

SP-210612

**Space-Time synchronization:
Phase synchronization, clocks, and positioning in advanced regime**

Perspective for Rel 18

Contact: std_stsl@ml.nict.go.jp
std@ml.nict.go.jp



National Institute of
Information and Communications Technology

Beyond 5Gと5Gの**違い**は？

https://www.soumu.go.jp/main_content/000696612.pdf

5Gの特徴的機能

- 高速・大容量 (eMBB: enhanced Mobile Broadband) ~10Gbps
- 高信頼・低遅延 (URLLC: Ultra-reliable and Low Latency Communications) ~1ms
- 多数同時接続 (mMTC: massive Machine Type Communications) ~1M devices/km²



(出典: https://www.soumu.go.jp/main_content/000681496.pdf)

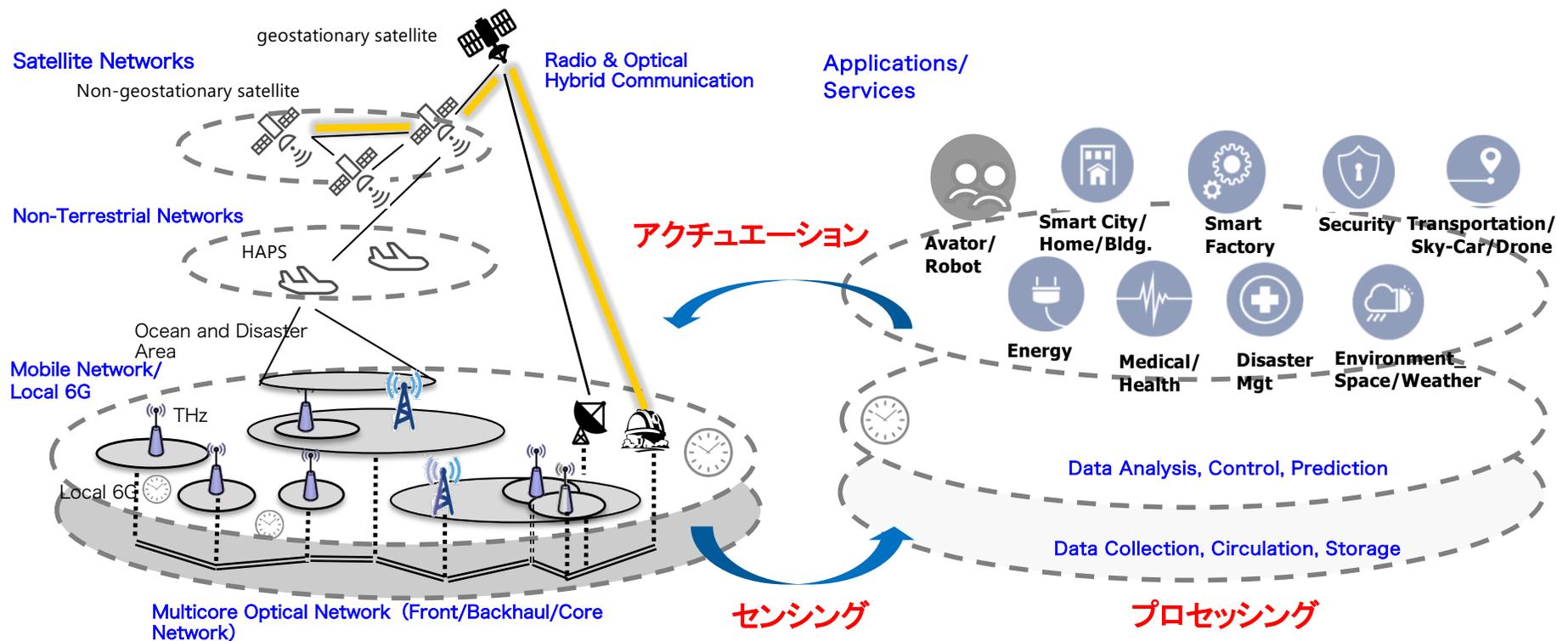
3 次元多層ネットワーク テラヘルツ 時空間同期

2030年頃のB5G/6G システムのイメージ

Cyber-Physical Space in B5G/6G Era

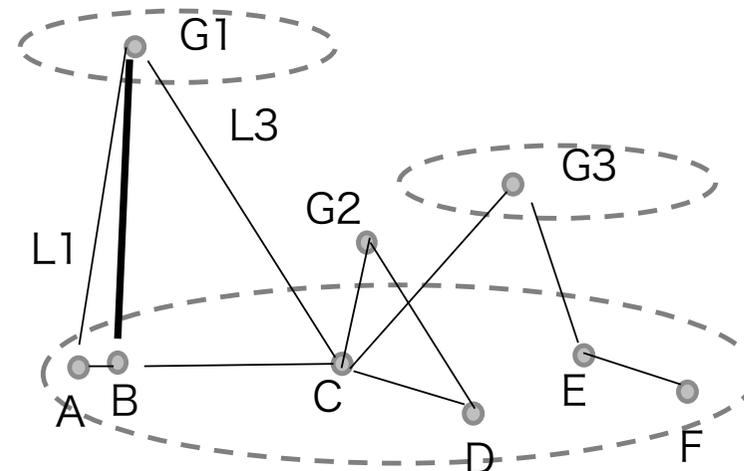
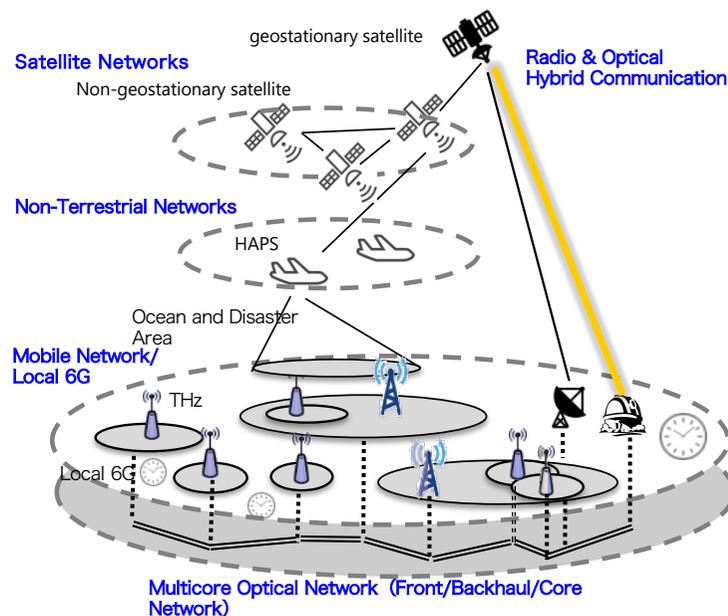
フィジカル空間

サイバー空間



End to End QoS Control across multiple domains

- 古くてかつ新しい問題: **Sharing and Isolation**
- Multidomain resource management for end-to-end QoS requirements under various use cases.
- **CA use cases: u-eMBB, u-URLLC, u-mMTC, u-LPWR, etc.**



QoS-Req1: A-B-C

QoS-Req2: A-(L1)-G1-(L3)-C-D

QoS-Req3: A-B-C-G3-E-F

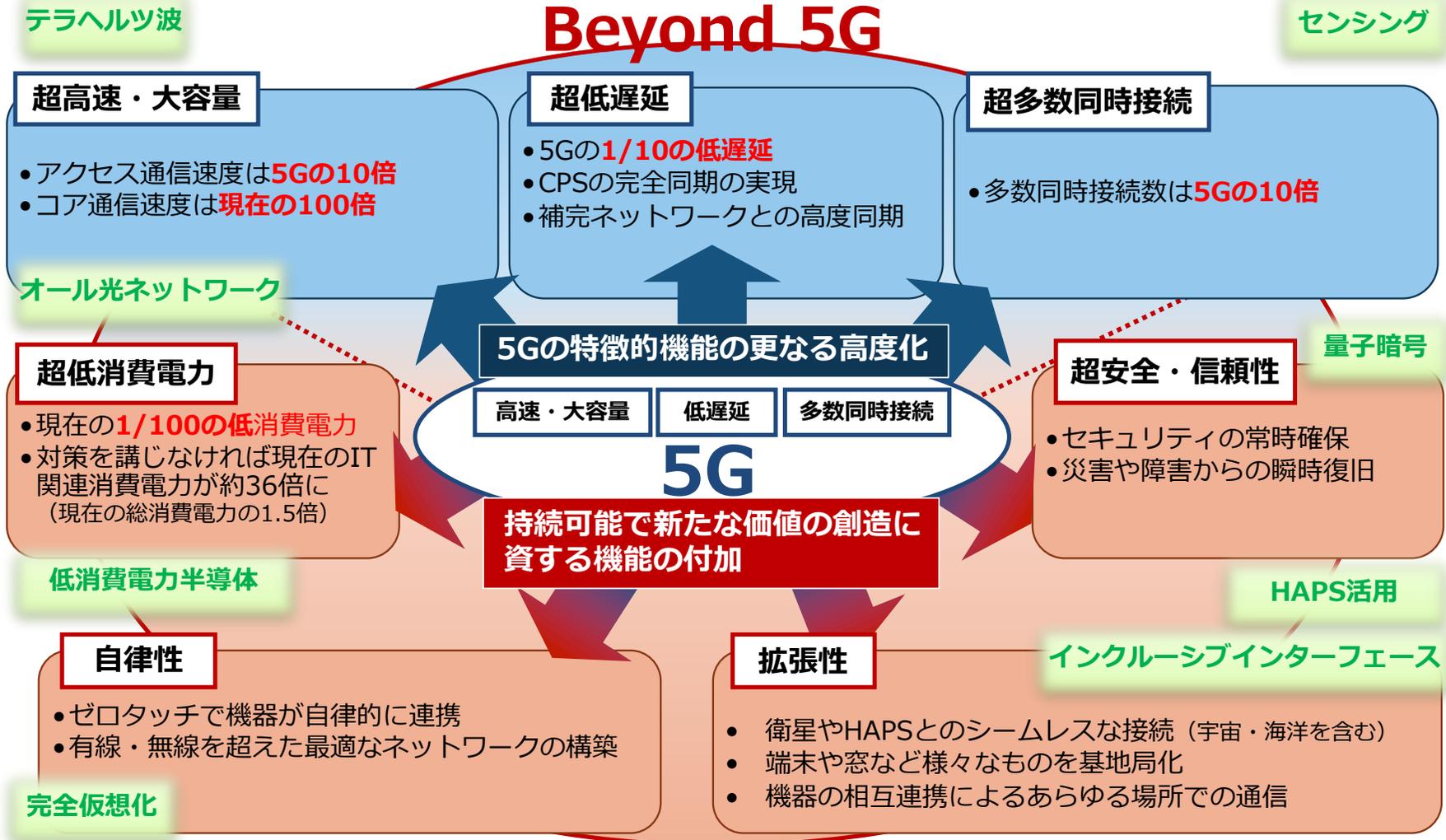
H. Tokuda, Y. Tobe, S. T. C. Chou, and J. M. F. Moura : "Continuous Media Communication with Dynamic QoS Control Using ARTS with an FDDI Network", Proceedings of the **ACM SIGCOMM'92** Symposium on Communications Architectures and Protocols : p88-98(1992)
H. Tokuda, "Challenges in Developing B5G/6G Communication Systems"
IEEE/ACM International Symposium on Quality of Service
25-28 June 2021 // Virtual Conference

B5Gに求められる機能

(出展： 総務省 B5G推進戦略懇談会)

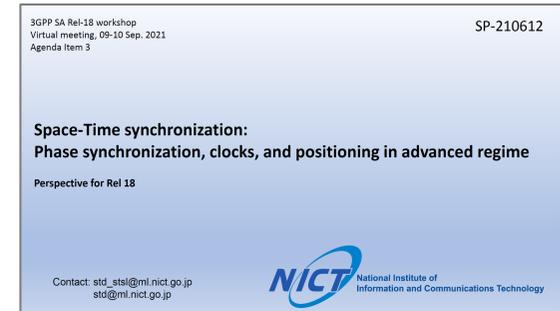
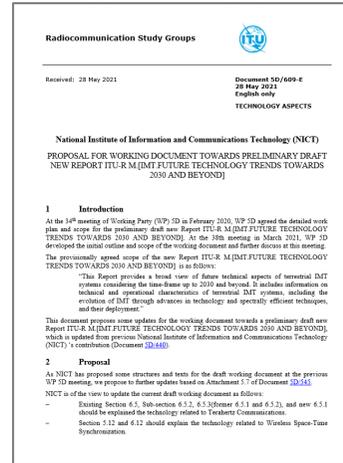
時空間同期
(サイバー空間を含む。)

※ 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



NICTにおけるB5G/6Gの研究開発

- NICT Beyond 5G/6G White Paper • ITU-R WP5Dや3GPP SA Rel. 18 Workshopへの提案文書
テラヘルツ、時空間同期、非地上通信ネットワーク（NTN）のBeyond5G/6G実現に向けた貢献について提案。



NICT 技術シーズ例

NICTの技術シーズを社会のニーズをソリューションとして提供するパートナーとともに、Beyond 5G / 6G の先駆けとCPSの早期実現を目指す



携帯電話で100Gbit/s級超高速無線を実現。バックホール回線等では屋外1kmを100Gbit/sで通信可能に



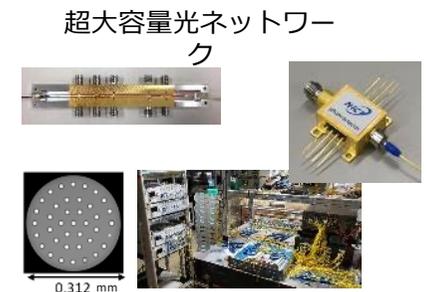
超小型原子時計で電波の位相も自在に操り、端末間・基地局間連携や、非GPS位置情報サービスも実現



インフラからアプリまで様々な電波システムを、仮想空間上で設計、評価、検証が可能な環境を提供



航空宇宙や海洋で実現する、シームレスに統合された多層的なネットワークの構築に必要な基盤技術



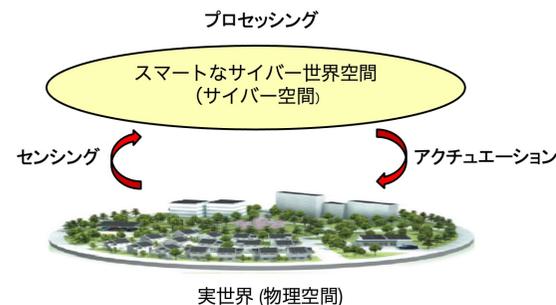
光ファイバ無線（RoF）やマルチコア光ファイバ技術等で現実世界のみならず、サイバー空間内や現実世界と間のデータ通信の根幹を担う

未来**社会**のデザイン

- 2030年代の社会イメージのデザイン
- **基本理念**：人間中心（人とAIの共創）・持続可能性・包摂性
- 人々が時間・空間・身体からの制約から解放され、誰もが豊かに暮らせる人間中心の**安全安心なSociety5.0**をデザインし、実現する。

どのようなwith/postコロナ社会をめざすべきか？

持続可能な社会、レジリエントな社会、包摂性のある社会



Society 5.0: サイバー空間とフィジカル（現実）空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会

バックキャストとフォーキャストのループ

キャストイングループ

- ・ **社会的ニーズの分析とシーズ開発の整合性**
- ・ SDGs
- ・ ムーンショット型R&D (2030, 2050の社会)

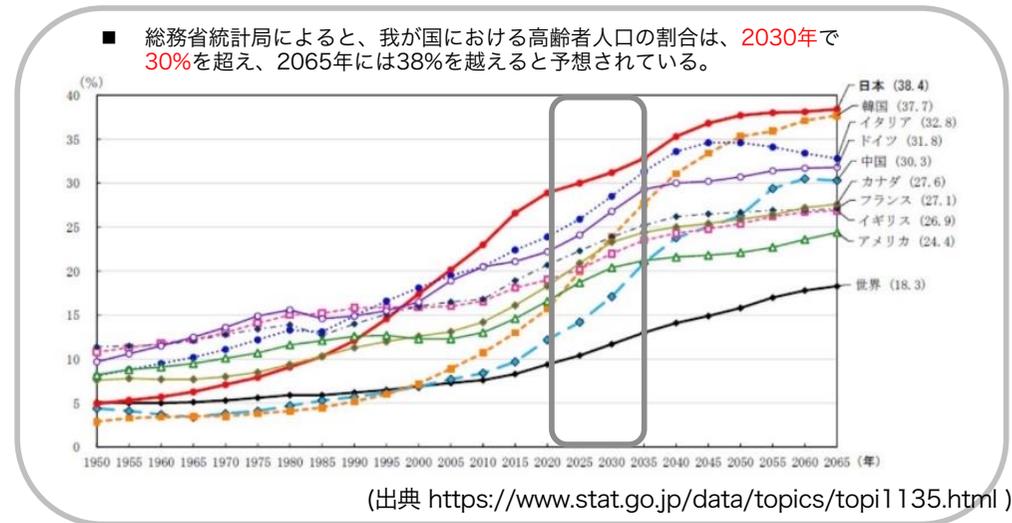
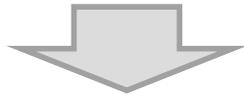


2030年頃における社会イメージ

■2030年代に向け、我が国では超高齢化が一層進み労働力の確保、高齢者の介護など社会経済活動の維持における様々な問題が深刻化

■人々が時間・空間・身体からの制約から解放され、豊かに暮らせる人間中心のSafe and Secure Society5.0が実現された社会

■人々の生活空間が垂直方向に拡大され、地上、海洋、成層圏、宇宙空間にまで拡大された社会

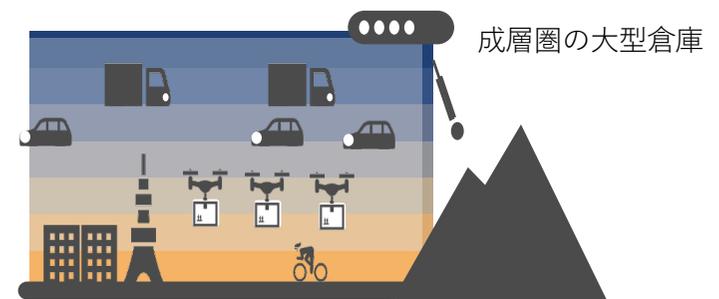


Beyond 5G/6Gは、生活・産業・医療・教育・防災・環境などのあらゆる場面においてイノベーションを牽引し、我が国の社会経済が国際的な優位性を担保する上で極めて重要な社会インフラ



NICT B5G/6G White paper: 4つのシナリオ

- シナリオ1: サイバネティック・アバターソサエティ(CAS)
 - サイバネティック・アバター(CA)社会は、人々が自身の能力を最大限に発揮し、多様な人々の技能や経験を共有できる社会
 - 安全安心なSociety 5.0: 誰もがCAを利用することで、時間的・空間的・身体的制約から開放されて、自由に活躍できる社会
- シナリオ2: 月面都市(COM)
 - 月面基地での作業
 - 宇宙観光、月面ストリートビュー
- シナリオ3: パーティカルなヒト・モノ・コト流 (IoVT)
 - 自律ドローン、スカイカー、スカイトラック
 - 成層圏倉庫



出典: <https://www.sankei.com/photo/story/news/181126/story1811260011-n1.html>

サイバネティック・アバタの実証実験

- サイバー空間上の2D, 3Dアバタと異なり、サイバネティック・アバタは、フィジカル空間において、人間の身体能力、認知能力、知覚能力を提供をめざす



本部町, 沖縄県

黒潮の大水槽を優雅に泳ぐ海洋生物たちとゆったりと散歩しよう!!

Presented by 沖縄美ら海水族館

30 mins | ¥5,000~



Dubai, Dubai

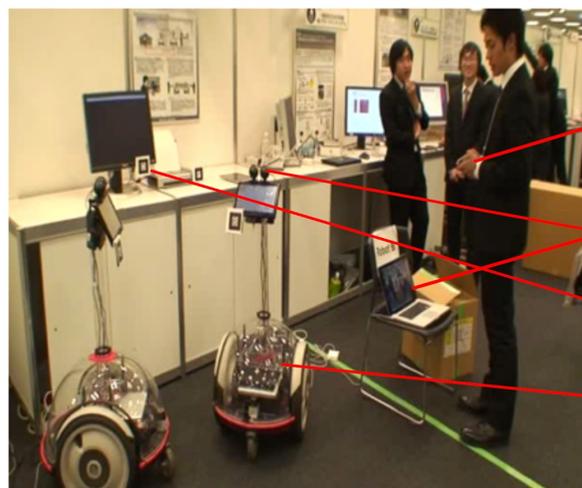
【都市エリアコース】アバターインしてドバイ万博日本館に行こう!

Presented by 2020ドバイ国際博覧会 |

30分 | 無料

KEIO-SFC ORF2010での実証実験
(11/22/2010)

Robot-In: A Network Robot (ORF2010)



Motion Controller

PC

Camera

AR Marker

Segway-base

(出典 : <https://avatarin.com>)

■ シナリオ 4- サイバー世界の光と影

■ サイバーお悩み相談室



■ UC-4-1: AI エージェントの課題

- 特定の消費者個人をターゲットとして個人的興味や信念、習慣、気質、などを分析してデータ化することはプライバシー保護の観点から好ましくないことから、個人データの分析と保護をうまく両立できるような仕組みの検討が必要

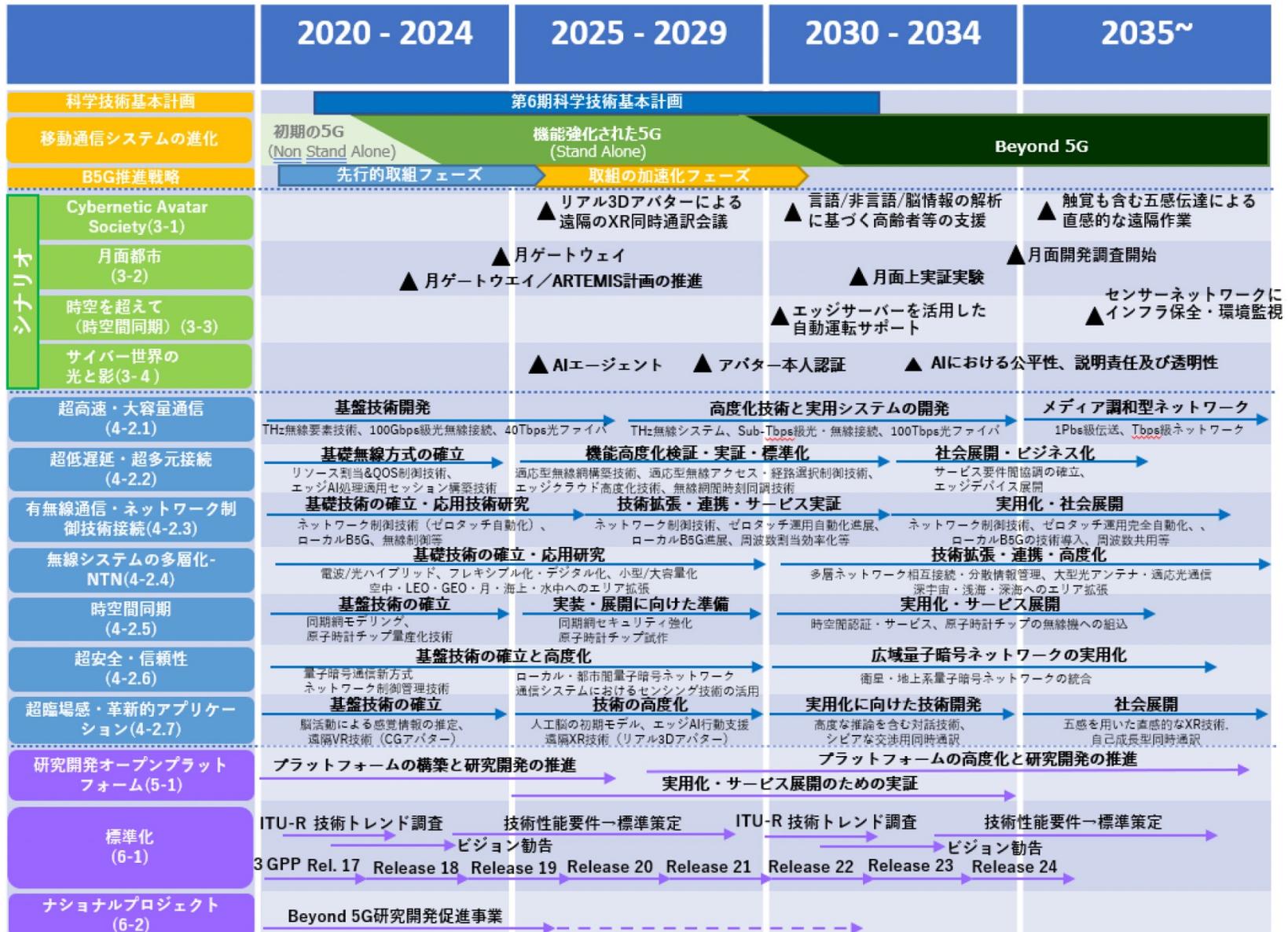
■ UC-4-2: AIにおける公平性、説明責任及び透明性(FAT)、倫理観や価値観の課題

- FAT: Fairness (公平性)、Accountability (説明責任)、Transparency (透明性)

■ UC-4-3 アバターの本人認証

■ UC-4-4 ナッジによる社会的課題の解決に向けた行動変容

B5G研究開発ロードマップ



B5G研究開発**促進**事業

NICTは、**ゲームチェンジ**を意識し、B5G/6G研究開発の**HUB**をめざす



Beyond 5G研究開発促進事業

NICT
自主研究

Beyond 5G研究開発促進事業の各プログラム
2020-2025年度: 第1次公募(2020/2021)、第2次公募(2022)、...

Beyond 5G
研究開発
プロジェクト

+

機能実現型
プログラム
(基幹課題※)

機能実現型
プログラム
(一般課題)

国際共同
研究型
プログラム

シーズ
創出型
プログラム
(委託研究、
助成金)

6課題 (2020 / 2021年度)

予算: 5億~10億円/年
研究開発期間: 2-4年間

20課題 (2021年度)

3億~5億円/年
2-4年間

3課題 (2021年度)

5000万円~1億円/年
2-3年間

委託: 15課題 (2021年度)

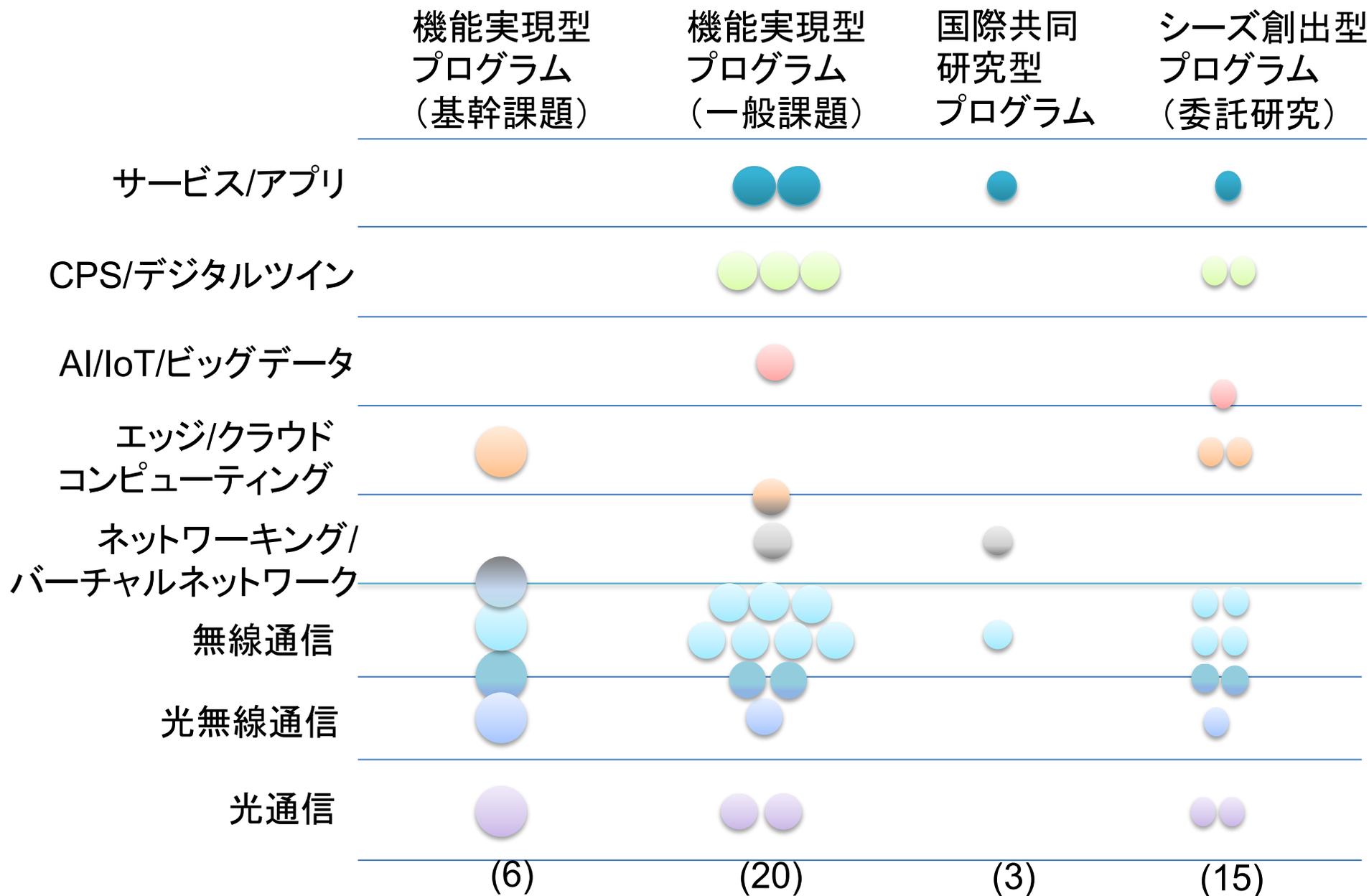
5000万円~1億円/年
2-3年間

助成: 3事業 (2021年度)

~1億円/事業
(助成率2/3以下)

※NICTが開発目標を具体的かつ明確に定めた研究計画書を作成して公募。

Beyond 5G研究開発促進事業の課題分布図 (2021年11月現在)



Outline

▶ Beyond 5Gへの挑戦

- ▶ B5Gの研究開発とその動向
- ▶ 未来社会のデザイン
- ▶ B5G研究開発促進事業

▶ ICT進化の流れ

- ▶ コンピューティングとコミュニケーションの進化
- ▶ 分散OSの黎明期と日米間の橋渡し
- ▶ スマートシティプロジェクト
- ▶ これからの学会

▶ まとめ

ICT進化の流れ

A bit of history

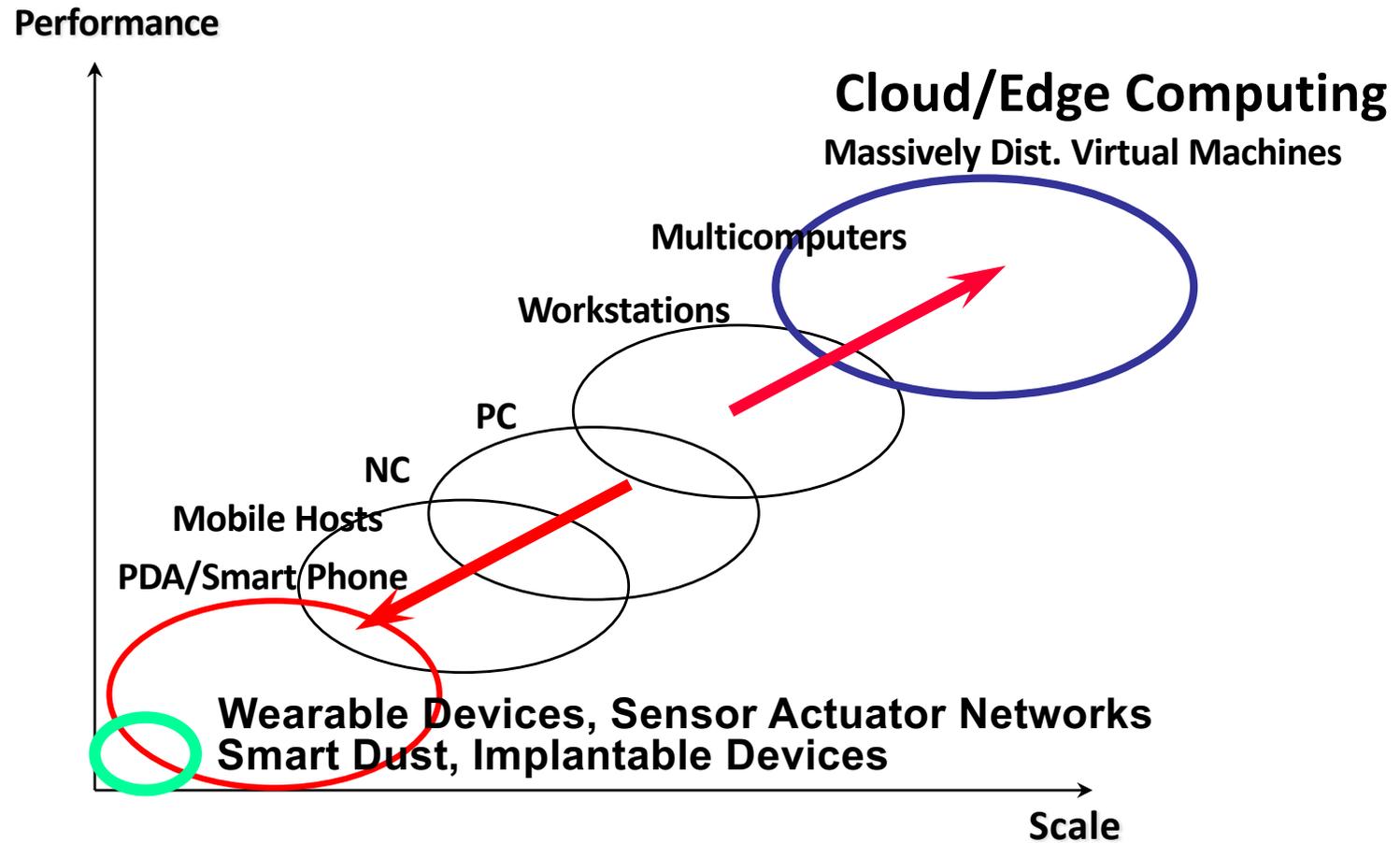
～システム屋からの視点～

1970's Computer-centric

1980-90's Network-centric

2000's Human-centric

コンピューティングの進化



コンピュータネットワークの進化

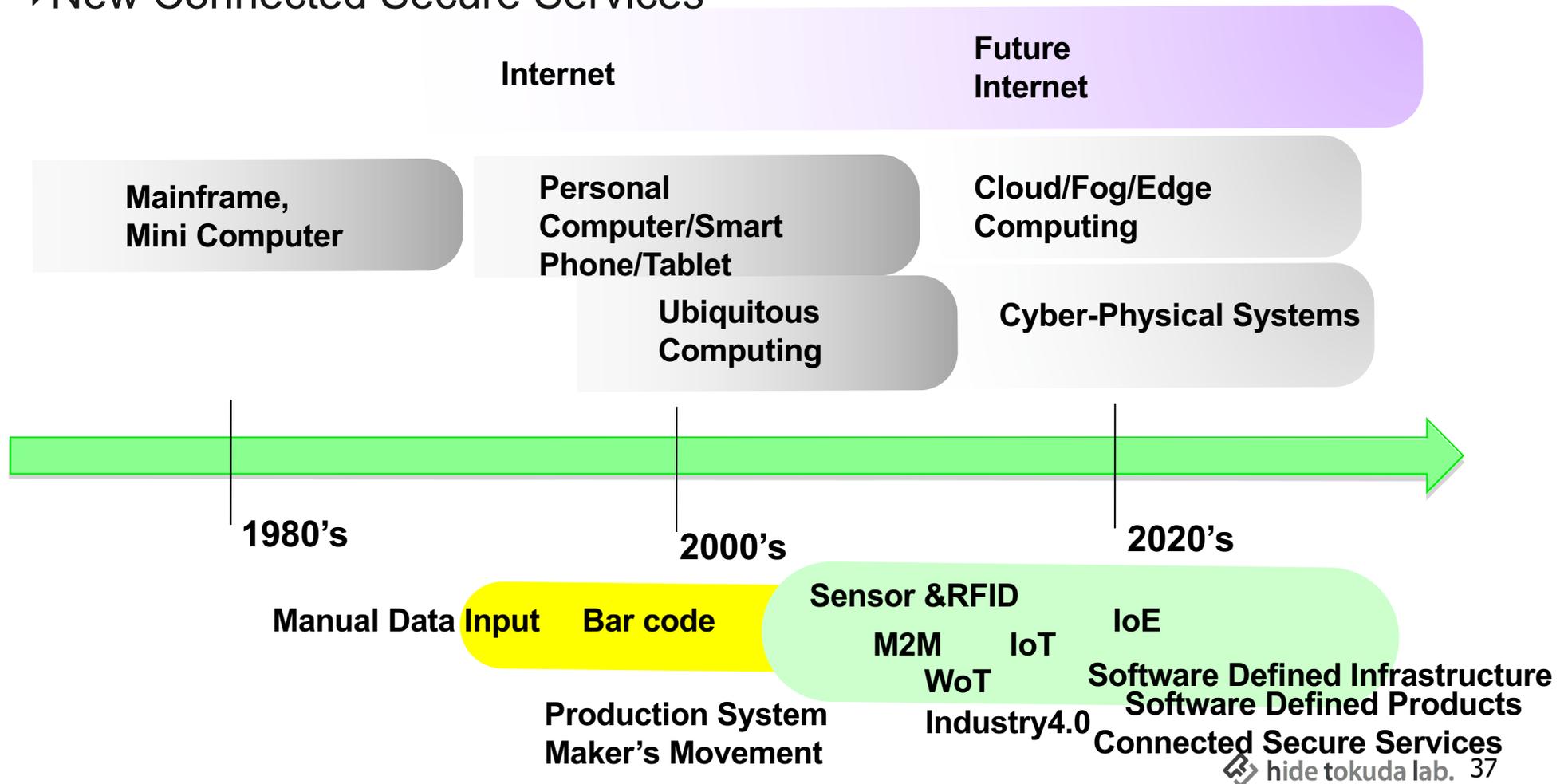
- 70's
 - Research and Development Network: ARPANET
- 80's
 - TCP/IP, 56Kbps -> T1 (1.5Mbps)
 - CSNET, NSFNET
- 90's
 - **The Internet**, ISPs, Creation of Web Space
 - 93 Commercialization Plan
 - 95 Privatization of NSFNET
 - Fusion of Media Space
 - Internet Fax, Internet Phone, Internet TV, Internet Car
 - Internet Tuner Chip
- 00's
 - Ubiquitous Network
 - Cyber and Real Space Integration
 - Service Mash Up
 - Web Services, Blog
 - Google Earth, Google Map
- 10's
 - Social Network Services and Social Media
 - Lifelog, SNS (Facebook), Twitter, Zoom, WebEx, etc.
- 20's
 - DX movement, AI, XR, CA, Metaverse, NFT, etc

== The 1st Digital Divide ==



ICT Environment in 2020-2030

- ▶ Information Society —> **S**ociety 5.0 => Co-Creation Era with Machines
- ▶ New Software defined Social Infrastructure
- ▶ New Connected Secure Services



Fascinated by System's Research

From Distributed OS to Ubiquitous Computing Systems

人工知能 20巻4号(2015年7月)

532

人工知能 30巻4号(2015年7月)

レクチャーシリーズ 「つながりが創発するイノベーション」〔第2回〕

システムの研究に魅せられて

—分散 OS からユビキタスコンピューティングシステムへ—

Fascinated by Systems' Research

— From Distributed OS to Ubiquitous Computing Systems —

徳田 英幸
Hideyuki Tokuda

慶應義塾大学環境情報学部, 大学院政策・メディア研究科
Faculty of Environment and Information Studies, /Graduate School of Media and Governance, Keio Univ.
hxt@sfc.keio.ac.jp, <http://www.ht.sfc.keio.ac.jp/~hxt/>

Keywords: distributed operating systems, real-time systems, ubiquitous computing systems, cyber-physical systems.

システム屋の心構え

Take home Message

▶ システムは、**使**われてなんぼのモノ！

良いシステムは、鋭いユーザコミュニティがあって成長・進化する！
システムソフトウェアを読まずして、システムソフトウェアは語れない

▶ 問題は、現場で**起**きている！

リアルな問題を分析、解決、形式知へ
e.g. Priority Inversion Problem (優先度逆転問題)

▶ 研究開発には、

Vision, Mission, Passion が重要

分散OSの黎明期

分散システムの開発 (1975-1983)

HITAC 10 & OKITAC4300c



PDP11/10



KEIO Oki Complex System (KOCOS)

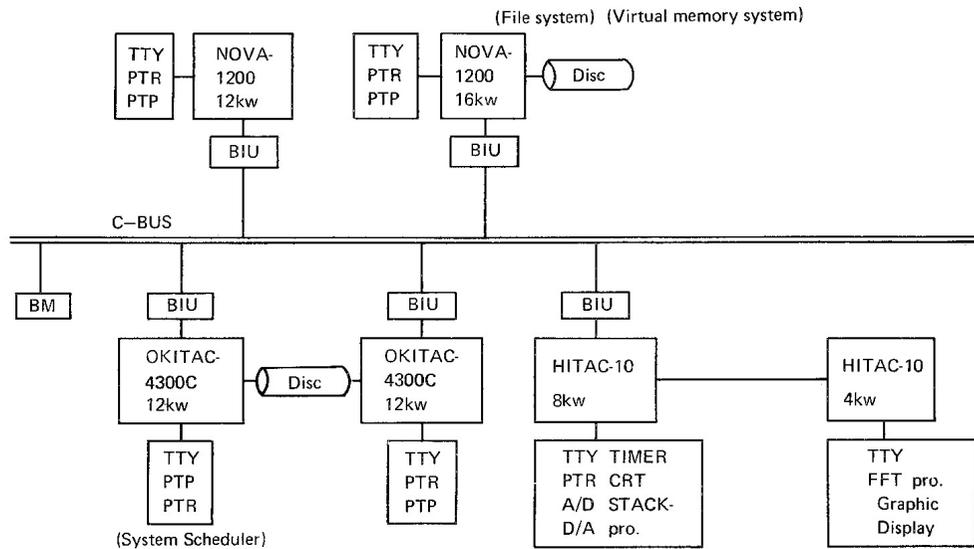


Fig. 1. System configuration of KOCOS.

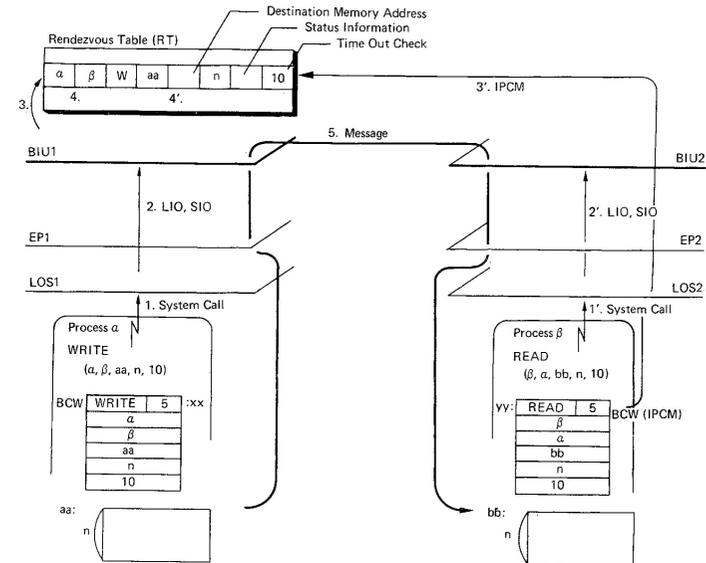


Fig. 5. Message type interprocess communication sequence (WRITE-READ).

- ▶ Aiso, H., Tokuda, H., Kamibayashi, N., et al., "The System Software for KOCOS (Keio-Oki's Complex System)", in G. Bell and J. Bell, ed. Minicomputer Software, pp 41 - 50, North-Holland, New York, 1976.
- ▶ Aiso, H., Kamibayashi, N., Tokuda, H., et al., "A Minicomputer Complex - KOCOS (Keio-Oki's Complex System)", Proc. 4th IEEE Data Communications Symposium, Quebec city, Canada, Oct. 1975.

Message passing vs. Procedure call

どのように同一のコードを異種マシン上で実行するか？

Pascal Compiler – P code (中間コード)

Message-based OS (RC4000 vs. OS360)

リソースのネーミング問題

リソースの共有と排他制御 (メッセージセマフォア)

- ・ 徳田英幸、KOCOSにおけるプロセス同期操作、電子情報通信学会全国大会 (1976)
- ・ 《談話室》 PV 操作について (徳田雄洋, 徳田英幸) Vol.17 No.5 (1976.5) (斉藤信男先生の《ショート・ノート》 並列プロセスの制御問題とその応用(1976)
- ・ 《大特集》アルゴリズムの最近の動向：27. 分散プロセスの通信方法 (徳田英幸) 情報処理、Vol.24 No.4 (1983.4)

プロの常識を覆すマイクロプロセッサの利用
パラダイムシフトの実践
集中型システムから**分散**システムへ
自律分散協調システム

「信の世界に偽詐（ぎさ）多く、疑の世界に真理多し」(学問のすすめ 第15編) -- 人の言っていることを安易に信じ込んだり、常識と言われているようなことを鵜呑みにしたりせず、何ごとも疑ってみるということ

Waterloo時代: Prof. Manning's Living room with Profs. Aiso, Tokoro and Sakamura



1980 at CCNG, Univ. of Waterloo



Shoshin System at CCNG



Tokuda, H., and Eric Manning,
"An IPC Model for a Distributed Software Testbed",
Proc. of ACM SIGCOMM '83, pp. 205-212., Mar. 1983.

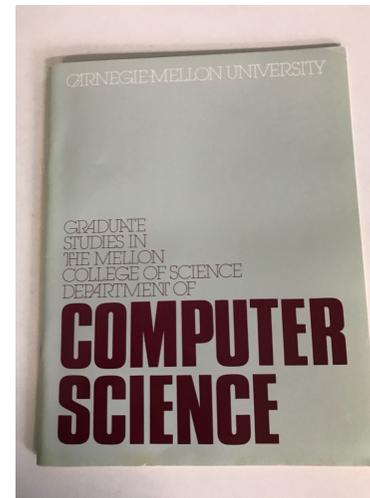
分散システムのメッカ

CMU-CSD

分散リアルタイムシステムの開発

CMU ARTグループ

(1983-1994)



CMU: my office@WeH7122



CMU時代: Faculty Members (1)

One Department Head and Rest of Us!
hxt@cs.cmu.edu (WeH7122)



A. Nico Habermann
Professor and Department Head
Ph.D., University of Eindhoven

In addition to the design and implementation of three operating systems, Dr. Habermann has worked on the development of system concepts



Allen Newell
U.A. and Helen Whitaker University
Professor of Computer Science
Ph.D., Carnegie Institute of Technology

Dr. Newell's central scientific interest is in discovering the fundamental nature



Raj Reddy
Professor of Computer Science and
Director of the Robotics Institute
Ph.D., Stanford University

Dr. Reddy's research interests in computer science are in the areas of artificial intelligence, man-machine communication and signal understanding systems. In par-



Herbert A. Simon
Richard King Mellon Professor of
Computer Science and Psychology
Ph.D., University of Chicago

Professor Simon is interested in artificial intelligence, especially the use of computers to simulate human think-



Geoffrey Hinton
Assistant Professor
Ph.D., Edinburgh University

Professor Hinton is interested in the kind of massively parallel computation used by the brain for vision, knowledge representation, and motor control. In



Edmund M. Clarke, Jr.
Associate Professor
Ph.D., Cornell University

One method for obtaining more reliable software is to prove programs correct in the same way that mathematical theorems are proved. It

CMU時代 : Faculty Members (2)



Richard Rashid

Assistant Professor
Ph.D., University of Rochester

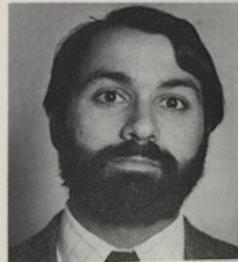
Dr. Rashid's interests are in distributed operating systems, operating systems for large multiprocessors, distributed file systems, networking and personal computing. He is Director of the Spice Project and the principal investigator of the distributed



Hideyuki Tokuda

Research Computer Scientist
Ph.D., University of Waterloo

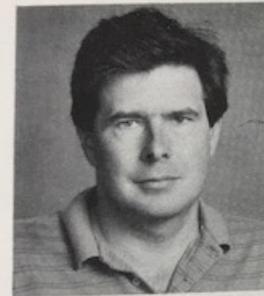
Dr. Tokuda's research interests are in distributed operating systems, distributed systems architecture, and distributed algorithms. He is currently



Alfred Z. Spector

Assistant Professor
Ph.D., Stanford University

Professor Spector's research interests are in the area of distributed systems and communication. These interests are broad and are concerned with how



James H. Morris, Jr.

Director of the Information Technology Center and Professor of Computer Science

Dr. Morris' current all-consuming goal is to create the CMU personal computer environment. He wants to make

CMU: Prof. Takeo Kanade (2012)



Robotics meet Reality

IoT/CPS also meet Reality

CMU: Jeannette M. Wing (2012)



分散リアルタイムシステム

ARTS Kernel Real-Time Mach

H. Tokuda, C.W. Mercer : "ARTS: A distributed real-time kernel",
ACM Operating Systems Review, Vol.23, No.3 : p29-53 (July 1989)

H. Tokuda, T. Nakajima, P. Rao : "Real-Time Mach: Towards a
Predictable Real-Time System", *Proceedings of USENIX Mach
Workshop* : 73-82(1990)

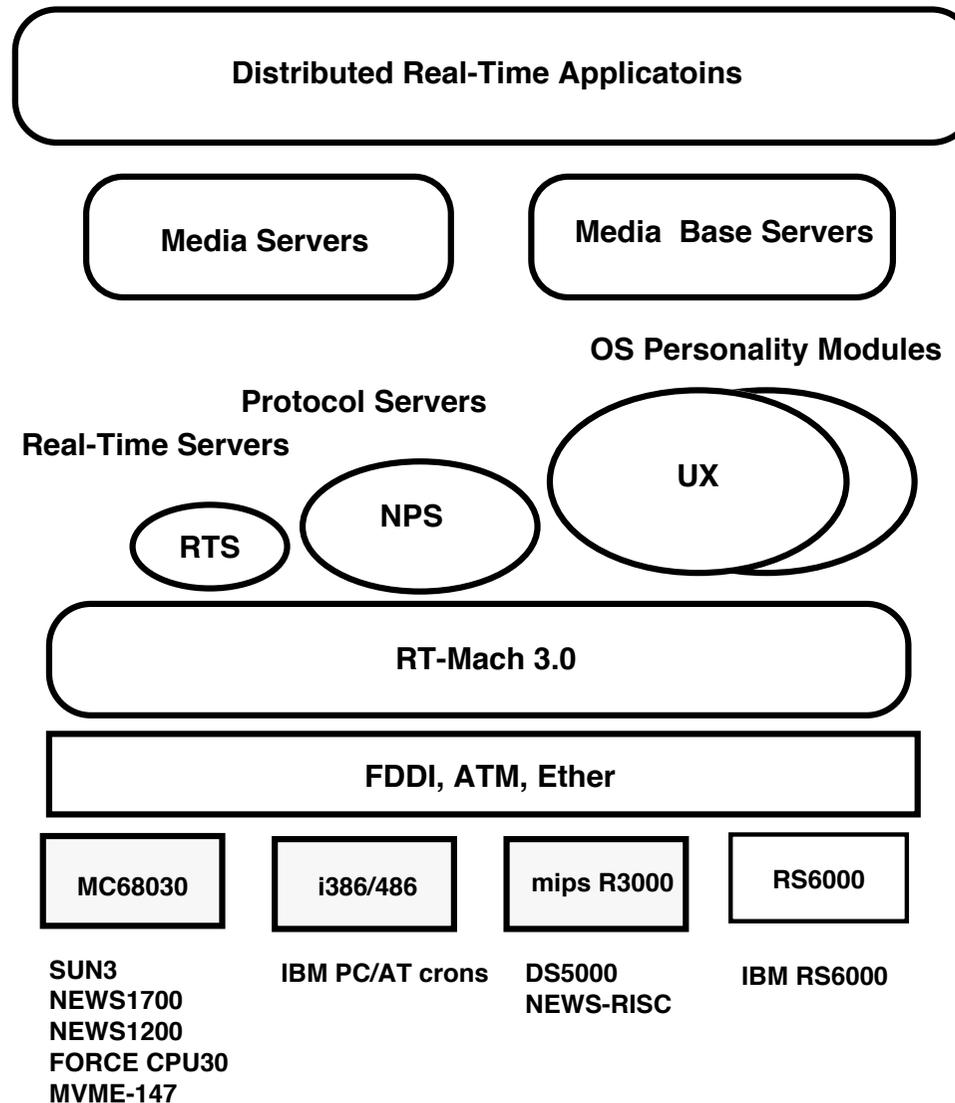
分散リアルタイムシステムの課題

- 単なる速いコンピューティングではない！
 - 予測可能なシステム
 - 論理的正当性と時間的正当性
 - End-to-Endのタイミング制約の保証
- 問題：1つ1つのプログラムの実行はOK, 2つ同時は？
- (P1 sat t1)
(P2 sat t2)
then
(P1 sat t1 && P2 sat t2)

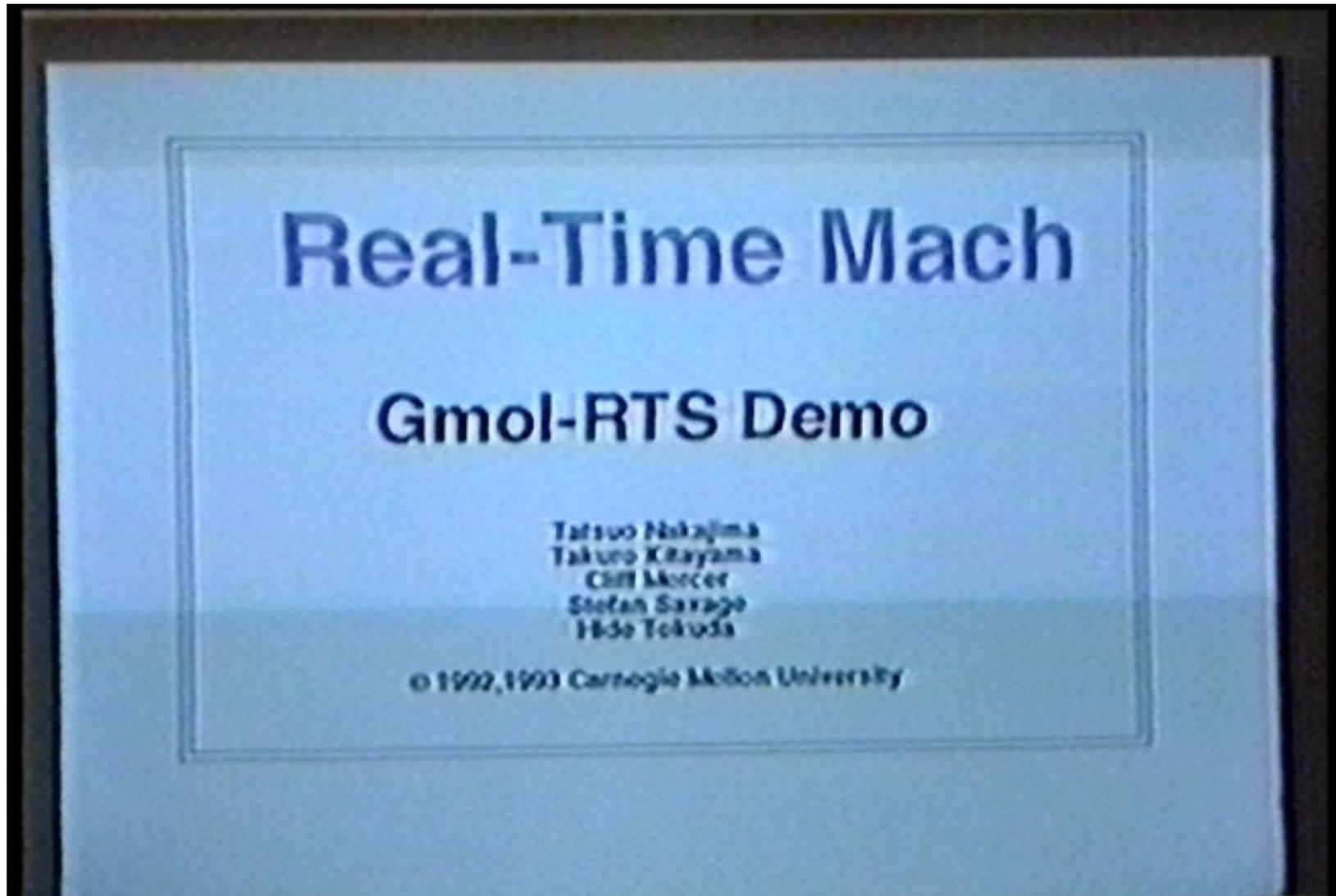
Why Real-Time Mach ?

- Advanced Dist. Common Real-Time Computing Environment
 - RT-Technology from ARTS
 - Predictable System
 - Integration with real-time toolset (Scheduler1-2-3, ARM)
- Research Coordination Platform
 - Real-Time Scheduling Theory
 - Real-Time Architecture
 - Real-Time Database
 - Real-Time Communication
 - Real-Time POSIX 1003.4 & .4a
- Interoperability
- Extensibility
- Multiprocessor
- Portability

Real-Time Mach Architecture



Gmol: RTS Demo (1993@CMU-CSD)



問題は、現場で**起**きている!

リアルな問題を分析、解決、形式知へ

Priority Inversion Problem

優先度逆転問題

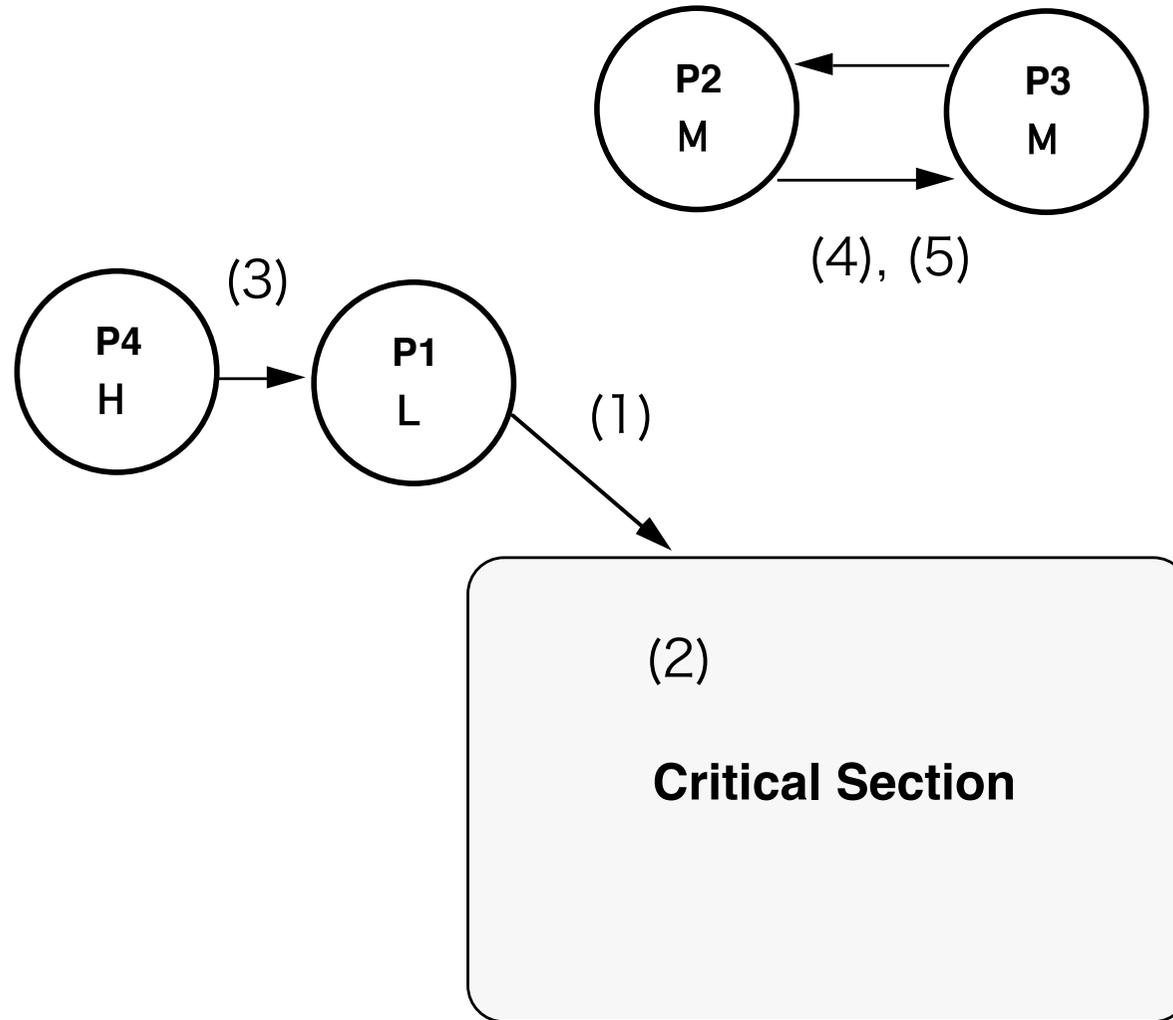


Mars Pathfinder's Problem on July 4, 1997

Priority Inversion Problem (1)

- *Priority Inversion* (in the processor scheduling domain) occurs when a high priority task must wait for a lower priority task to execute.
- Unbounded Priority Inversion is considered harmful.
- Priority Inversions occur in various *Scheduling Domains*:
 - Processor Scheduling
 - Communication Scheduling
 - Transaction Scheduling
- Solutions:
 - Priority Inheritance Protocols (Prof. Rajkumar's PhD thesis)
 - Avoidance Protocols

Priority Inversion (2)



日米間の橋渡し

UUCP接続からIP接続 (1983~)

米国から日本への提案

(by 徳田雄洋、徳田英幸 情報処理学会誌1984年7月号)

Vol. 25 No. 7

情 報 処 理

July 1984

談話室



電子メールを日本国内で容易に送受できる環境を実現し、研究者の意見交換を高速大量化する方法について†

徳田雄洋** 徳田英幸***

引用 (電子メールのヘッダより)

Date: Sunday, 15 January 1984 23:39:20 EST
From: Takehiro Tokuda@CMU-CS-GANDALF
TO: bboard@IPSJ
Cc: Hideyuki Tokuda@CMU-CS-G
Subject: Electronic Mail Connection from Japan

1. はじめに

1983年10月号「情報処理」¹⁾は通信網と情報処理に関する興味深い特集号でしたが、奇しくも同時期CACM誌²⁾は米国の計算機科学関係の大学・研究所を電子メール網で結ぶCSNETの報告を、IEEE Computer Magazine誌²⁾は計算機広域ネット・ローカルネットを結ぶインタネット (すなわち、ネットの

メッセージ掲示板、

用語3 電子ニュースレター

インタネット上のある地点の人間または機械の編集者へ送られたメッセージを、編集後に読者リスト上の各計算機または各ユーザへ電子メールで送付するニュースレター。

次に米国の代表的な研究者用電子メール網を3つ説明します。これらは一定条件下で、メールの相互乗り入れを実施しています。

用語4 ARPA INTERNET²⁾

米国防総省がスポンサとなり、米国の約100地点の大学・研究所その他を結ぶ本格的インタネット。かつてのARPA NETの拡張版。

用語5 CSNET³⁾*

東工大 <--> CMU-CSD via 1200 bps modem

jun@titcca.titan.junet <--> hxt@k.cs.cmu.edu

And this labelled as June 1, 1981

█

!- Uucp links
: Berknet links
@ Arpanet links

```
                                pdp
                                ! (NC)
                                (Misc)
decvax sii reed phs--unc--grumpy duke34 utzoo cincy teklabs
  ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
  ! +-----+-----+-----+-----+-----+-----+
  ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
  ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
  ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
ucbopt ! ! hocr--mhtsa----research mh135a harpo----chico
: ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
ucbcory ! ! ! eagle ihnss vax135 (Bell Labs)
(UCB) : ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
ucbvax--++-----+-----+-----+-----+-----+
: @ ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
ucbarpa @ (UCSD) sdcsvax ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
: @ sdcattb-----+ ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
ucbonyx @ +-----ucsfcgl sytek sri-unix
@ phonlab-----+
cca-unix sdcarl
```

USENET in June 1981

1985 Network Symposium in Seoul

CSNET official TCP/IP Tapeが日本へ授与



スマートシティプロジェクト

(2012-2018@KEIO-SFC)

EU側：都市リソースの最適化、持続可能性

日本側：地方都市の創生/ICT街づくり

人々のQoLの向上

徳田英幸、”システムの研究に魅せられて～原点に立ち返り、さらなる先へ～”
KEIO SFC Journal Vol. 18, No. 1, 2018

スマートシティ研究開発の進化(2011-2021)



東日本大震災



総務省ICT街づくり推進部会
(個別実証+横展開)



“スマートIoT推進フォーラム”



MEXT-BigData project



“スーパーシティ構想懇談会”

ClouT project

NICT ソーシャルBD project

内閣府特命大臣 (地方創生)

BigClouT project

Horizon2020

Horizon Europe

EU-FP7 FI-PPP



NSF-CPS



NIST Global City Teams Challenge Expo



SC3(Smart and Secure Cities & Communities Challenge
+ Smart City Networking)

スマートシティに関する研究開発 (2013 - 2018)

NICT ClouT(2013-2015)

- ・スマートシティにおける市民の影響力を拡張するCloud of Things基盤技術
- ・江ノ島での実証実験
- ・NTT東日本、Panasonic、国立情報学研究所、SFC、欧州企業および大学



文科省 ビッグデータ利活用(2014-2017)

- ・実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発
- ・SmartCityAppsによるビッグデータオープンデータの住民への還元
- ・筑波大学、東京大学、東北大学、慶應SFC



NICT ソーシャルBigData(2014-2017)

- ・オープン・スマートシティを実現するソーシャル・ビッグデータ利活用・還元基盤
- ・清掃車センシング
- ・リアルタイムな人流・インフラマネジメント
- ・SFC、東京大学、東京電機大学、NTT研究所



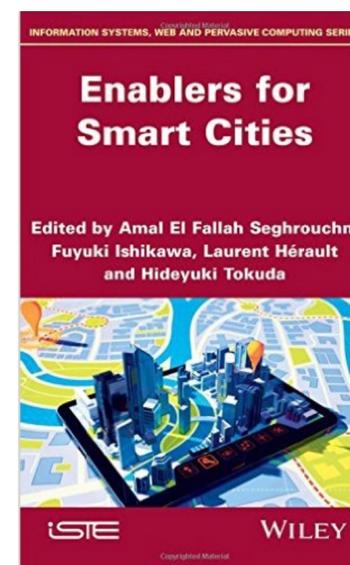
総務省 G空間シティ(2014)

- ・レジリエントシティ湘南準天頂衛星と参加型センシングによる防災・減災力強化、非同期避難訓練
- ・湘南広域都市行政協議会、藤沢市、茅ヶ崎市、寒川町、慶應義塾大学、NTT東日本



NICT BigClouT(2016-2018)

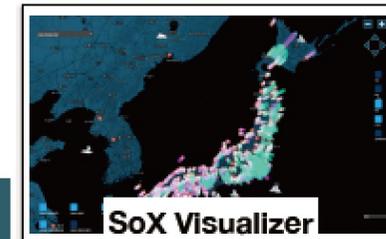
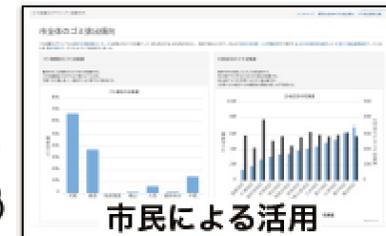
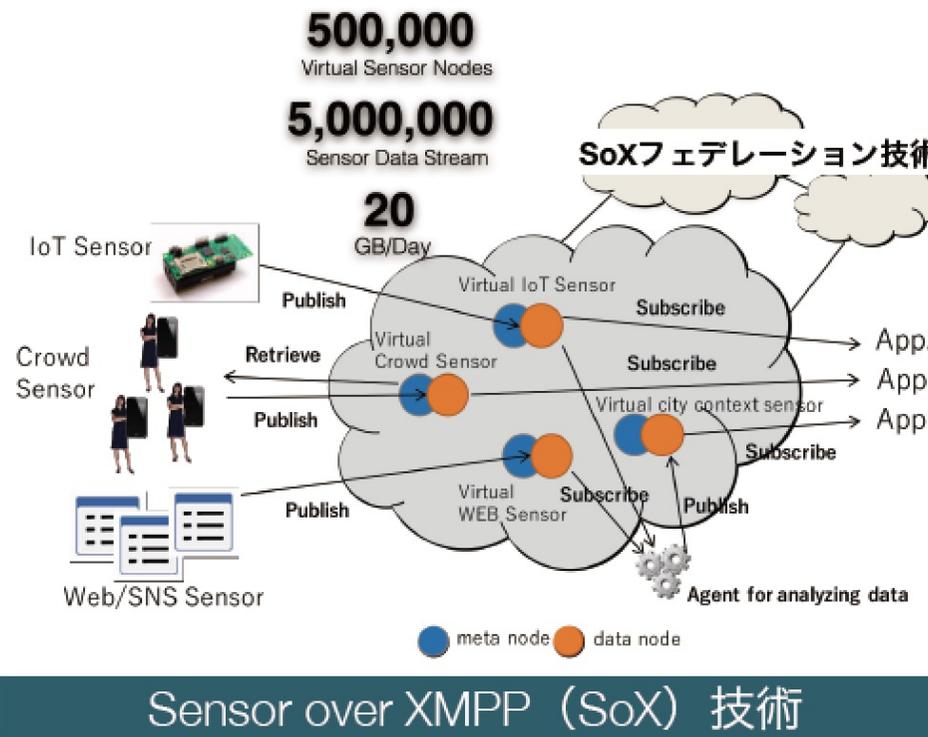
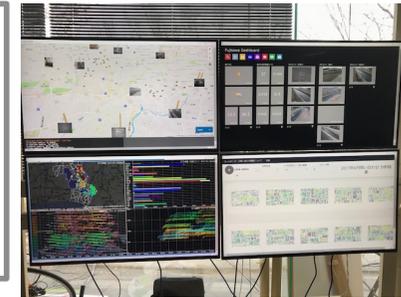
- ・クラウドとエッジをバランス良く統合したIoTデータ流通、解析基盤の研究開発
- ・NTT東日本、国立情報学研究所、YRP-IOT、筑波大学、慶應義塾大学

Enablers for Smart Cities
 Ed. by A.E.F. Seghrouchni, F. Ishikawa, L. Herault and H. Tokuda
 ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, 2016

IoT/CPSによるデジタル変革の事例

- 情報流通を提供するSFCity プラットフォーム
- Sensor over XMPP (SoX) プロトコル (Pub-Subタイプ) による統一的API
- センサの仮想化：Webデータもスマーホンデータもセンサ化
- 「ユニバーサルセンサネットワークと清掃車を活用した藤沢市のスマート化」中澤ほか、デジタルプラクティス Vol.8 No.3 (July, 2017)

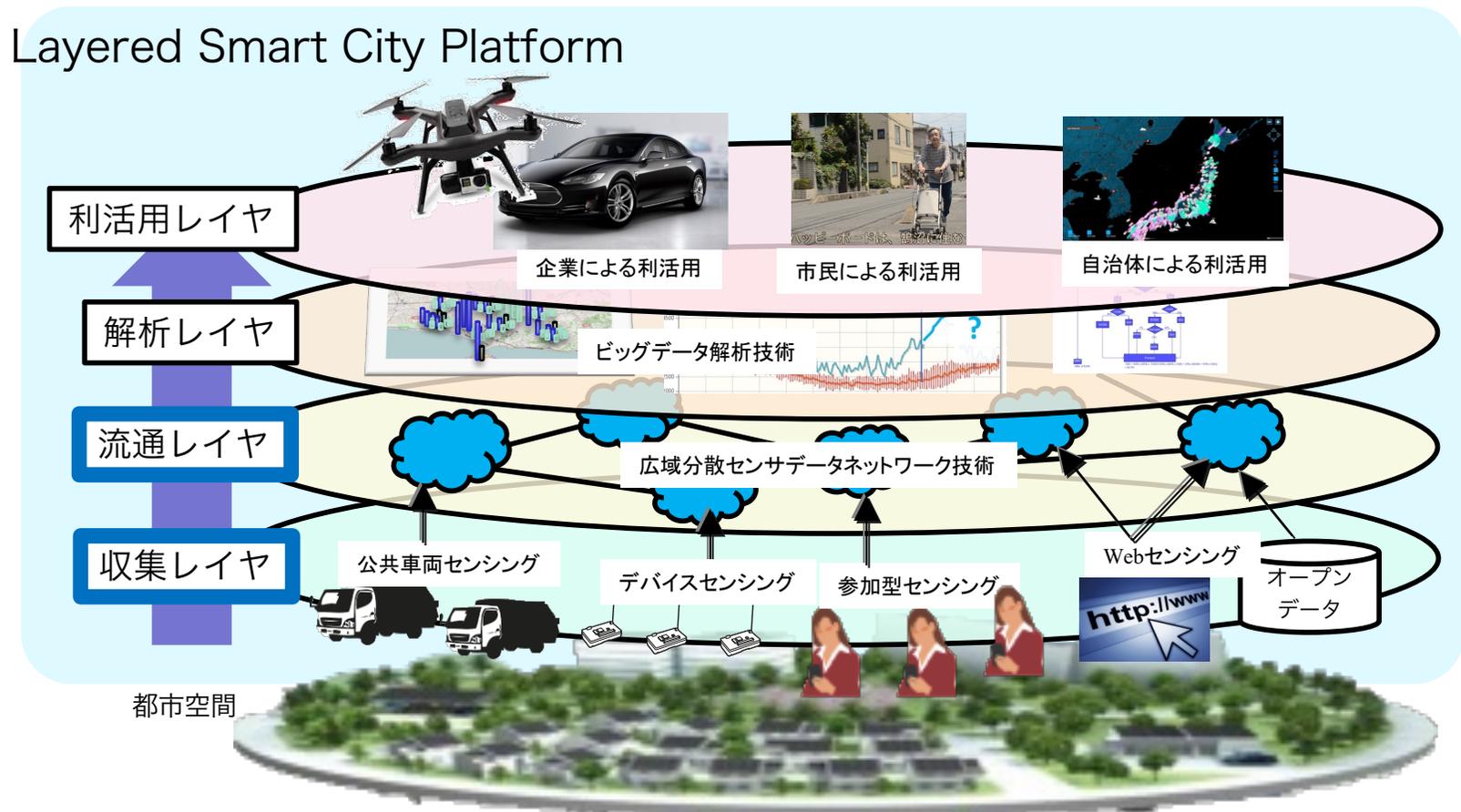


- ・ オープンソースとして公開中 <https://www.sfcity.jp>

スマートシティ・プラットフォーム

- スマートシティを実現する情報プラットフォームは、その機能ごとに内部で複数のレイヤにより構成されると考える事ができる。上のレイヤは下のレイヤの提供する機能を利用して自らの機能を実現する。

水平方向の各円盤が、スマートシティ・プラットフォーム内の情報に関する各レイヤ。

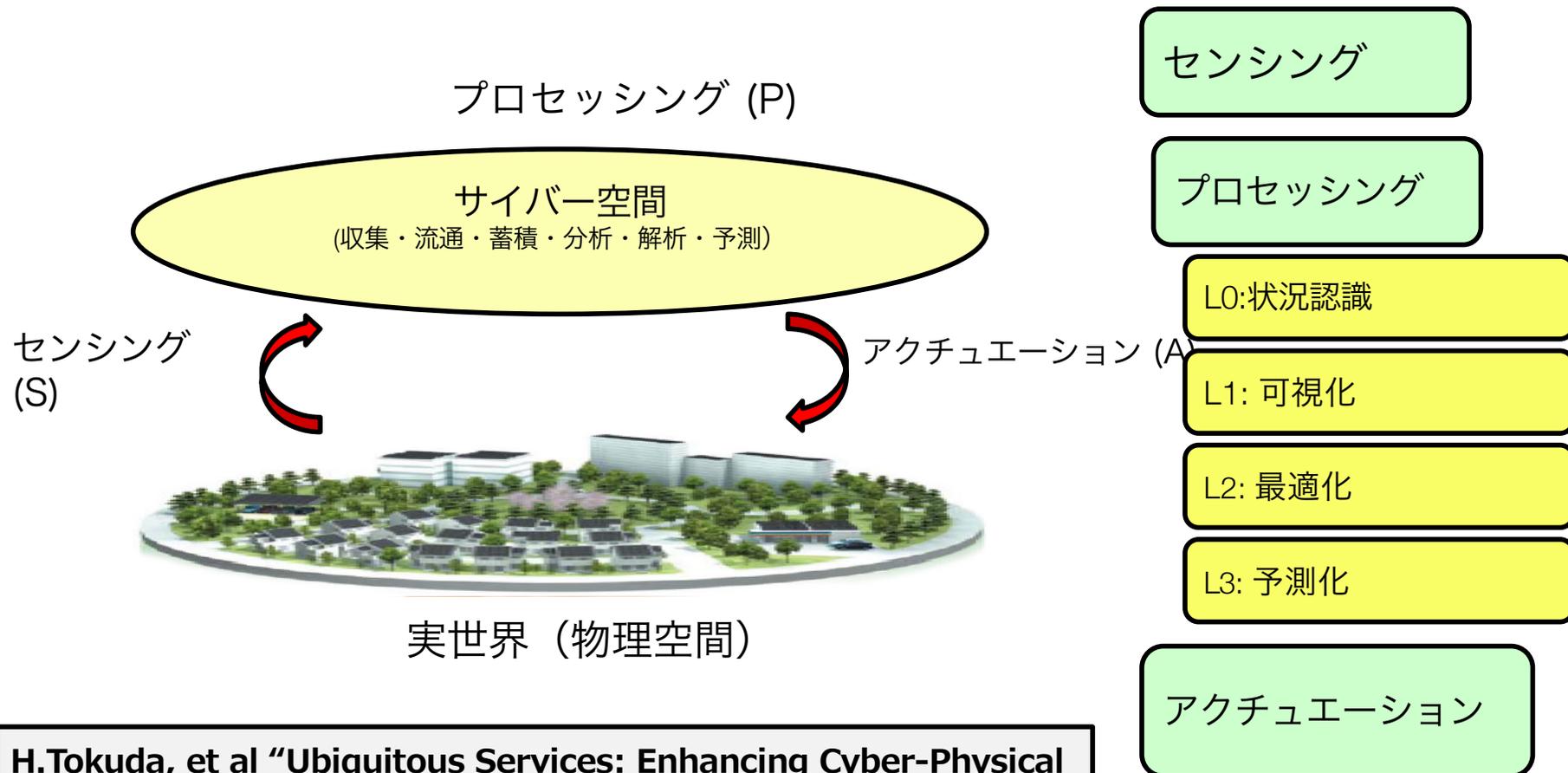


Smart Cityダッシュボード (2018)



サイバー・フィジカルシステムの視点

- **HOT-SPA model** (HOT: Here or There, SPA: Sensing-Processing-Actuation)
- **IoT**: モノのネットワーク (Internet of (connected) Things)
- **CPS**: 制御されるモノのシステム、システムのシステム (Internet of (controlled) Things)



H.Tokuda, et al "Ubiquitous Services: Enhancing Cyber-Physical Coupling with Smart Enablers".
IEICE Transactions 94-D(6): p1122-1129 (2011)
H. Tokuda, et al "SenseCampus: Sensor enabled Cyber-Physical Coupling for Ubiquitous Services". JIP 20(1): p45-53 (2012)

これからの学会は？

IEEE RTCSA 1994~

RTCSAファンディングメンバーとして



IPSJ-SIGUBIの開設 (2003)

情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会@2003年4月
2001年度4月から設立された「情報家電コンピューティング研究グループ」
と「知的都市基盤研究グループ」をベースに開設



UbiComp2005@Tokyo

アジア地区での初開催

625名の参加（最多記録 till UbiComp+Pervasive 2013@Zurich）



ICTの進化をリードできる学会

オープンな場

コラボレーションの場

創発が起こる場

本物に触れられる場

若手もシニアも誰もが活躍できる場

まとめ

▶ Beyond 5Gへの挑戦

- ▶ **Beyond 5G**は、生活・産業・医療・教育・防災など様々な場面において大きな役割を果たすとともに、我が国の社会経済が国際的に生き残っていくために極めて重要な基盤
- ▶ **安全安心なSociety 5.0 の実現**
 - ▶ 人々が時間・空間・身体からの制約から解放され、豊かに暮らせる人間中心の**安全安心なSociety5.0**の構築

▶ ICT進化の流れ

- ▶ **コンピューティングとコミュニケーションの進化**
 - ▶ **システム屋の心構え**
- ▶ **分散OSの黎明期と分散リアルタイムシステム**
- ▶ **スマートシティプロジェクト**
- ▶ **学会への期待**

ご静聴ありがとうございました

NICT will continue to contribute to create a better society by ICT

www.nict.go.jp