

衛星通信システム委員会資料 2016年7月22日

# IoT/5G時代の衛星通信技術

国立研究開発法人 情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 門脇 直人 豊嶋守生

# IoT/5G時代の衛星通信の利活用について

【文献】門脇、「IoT/5G 時代の衛星通信技術」、信学会誌 Vol.99 No.3 pp.248-253 2016 年3 月

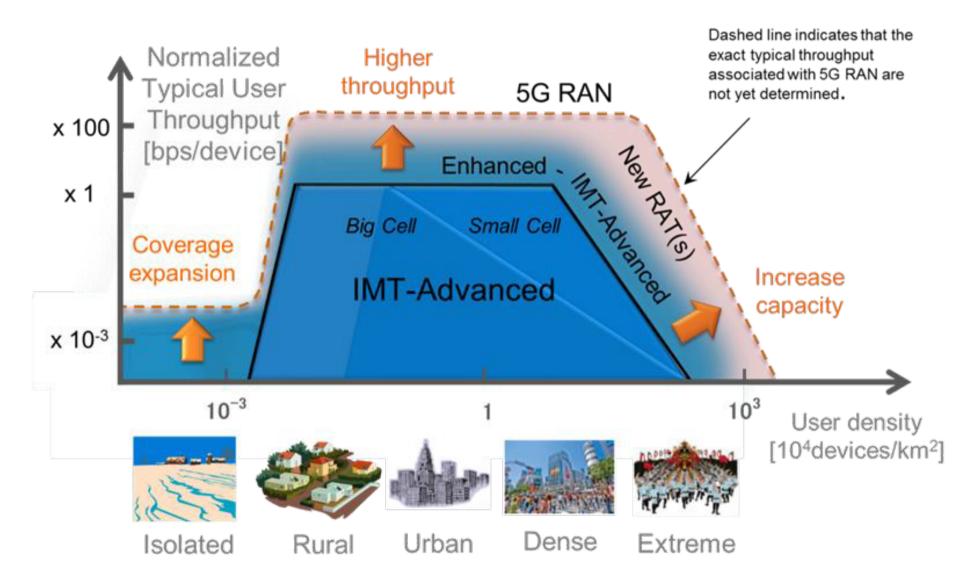


## IoT/5G時代に衛星通信はどう使われるのか?

- IoTの通信要求とは?
  - ▶ 多様なデータ容量が混在
    - 微少容量データから大容量データまで幅広い
  - ▶ 広範なカバレッジ
    - 人の居住域はもちろんのこと
    - ・ 人のいない、陸上、海上・海中、上空、宇宙まで
- 5Gでどんな通信環境が現れる?
  - > 一層のブロードバンド化
  - ▶ 複数のネットワークの複合的/統合的利活用
    - 拡張LTE、WiFi、ミリ波LAN、光空間伝送網、etc.
  - ンユーザ要求の多様化
    - ユーザスループット、移動性、遅延においてより多様化
  - ▶ 広範なカバレッジ
    - ユーザ密度の高い地域のみならず、低い地域へのカバレッジ拡大



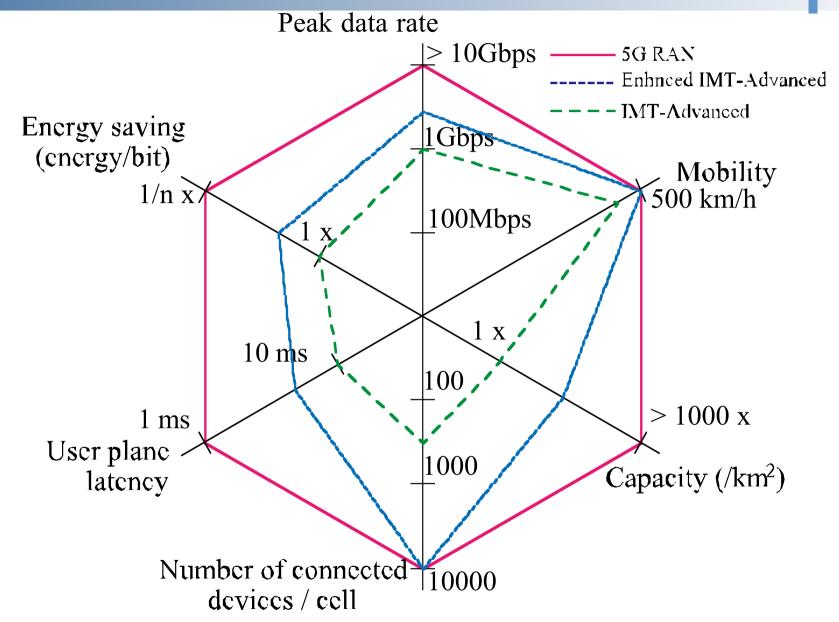
#### Framework of 5G RAN



出展: "Mobile communications systems for 2020 and beyond," Whitepaper of ARIB 2020 and Beyond AdHoc Group, Ver. 1.0.0, Oct. 2014.



## 5G RANのターゲット性能



出展: "Mobile communications systems for 2020 and beyond," Whitepaper of ARIB 2020 and Beyond AdHoc Group, Ver. 1.0.0, Oct. 2014.



## IoT/5G時代に衛星通信は使われるのか?

- IoTの通信要求とは?
  - 多様なデータ容量が混在
    - 微少容量データから大容量データまで幅広い
  - 広範なカバレッジ
    - 人の居住域はもちろんのこと
    - ・ 人のいない、陸上、海上・海中、上空、宇宙まで
- 5Gでどんな通信環境が現れる?
  - 一層のブロードバンド化
  - 複数のネットワークの複合的/統合的利活用
    - 拡張LTE、WiFi、ミリ波LAN、光空間伝送網、etc.
  - ユーザ要求の多様化
    - ユーザスループット、移動性、遅延においてより多様化
  - 広範なカバレッジ
    - ユーザ密度の高い地域のみならず、低い地域へのカバレッジ拡大









## 5Gの中での衛星通信の役割

出展:" NetWorld2020's-SatCom WG The role of satellites in 5G", Ver.5

- 衛星により5Gのカバレッジを拡張
- レイテンシやQoEを改善しつつ、マルチメディアデータ伝送を担う
- ・ 衛星バックホールの利用や、地上通信の輻輳回避のために衛星 通信を用いるなど、地上系通信の負担を軽減する
- 衛星通信と地上系通信を統合し、通信の復元力(resilience)を高める
- SDN技術を用いて、仮想ネットワークを統合する
- 各システム間の周波数の利用効率を高める



## 衛星通信の効果的な適用領域例

#### 1) 海洋域における新たなアプリケーション

- a) 海洋資源調査のためのブロードバンド通信
- b) 海洋環境調査
- c) 津波監視
- d) 貨物船モニタリング・制御
- e) 安全保障等

#### 2) 航空機を対象としたアプリケーション

- a) 航空機乗客に対するブロードバンドサービス
- b) 航空機運用の高効率化や安全性高度化のための航空機モニタリング
- c) 無人航空機(UA: Unmanned Aircraft)を用いたリモートセンシング及びUA 群制御用ネットワーク等

#### 3) 宇宙空間における通信アプリケーション

- a) 衛星リモートセンシングのための大容量ダウンリンク
- b) 惑星, 小惑星等の資源調査等のための通信ネットワーク
- c) 深宇宙探査のための通信ネットワーク等

#### 4) 5Gネットワークの一部機能の分担

- a) 超大ゾーン・低消費電力コントロールプレーン用ネットワーク
- b) 階層的バックホール(遠距離, バックアップ等)

## IoT/5G時代に必要とされる衛星通信技術

【文献】門脇、「IoT/5G 時代の衛星通信技術」、信学会誌 Vol.99 No.3 pp.248-253 2016 年3 月



## 必要となる研究開発課題(1/2)

#### <u>広範な海洋域に分散する多数のセンサからのアップリンク収容技術</u> 【電カリソースの乏しい分散センサーからのアップリンク確保】

- ➤ 衛星側G/Tの増大と広域カバレッジの両立
- > 多元接続方式
- > 帯域制御技術等

## 広範な海洋域・空域を対象とするブロードバンド通信技術

【海洋資源調査等では大容量データ伝送が必要: U/Lで10Mbps以上】

- ➤ 衛星G/T、EIRPの増大と広域カバレッジの両立
- ▶ 地球局のEIRP増大力
- > 多元接続方式、帯域制御方式等

#### 無人航空機(UAV)用衛星通信技術

【技術開発と同時に国際標準化、制度化が急務】

- ➤ 周波数共用技術(Ku, Ka含む)
- ▶ 小型軽量&低プロファイルアンテナ等の地球局技術等

## 必要となる研究開発課題(2/2)

#### 高精度リモートセンシング用大容量伝送技術

- ➤ 数十Gbpsクラスの衛星間中継技術
- ➤ 大容量フィーダリンク技術(光、RF)
- ▶ 光宇宙通信技術とネットワーク化されたサイトダイバシティ技術等

#### 惑星、小惑星帯を対象とした超遠距離通信技術

▶ 高出力光宇宙通信技術、光中継衛星技術等

#### 5G技術の衛星通信応用\*1

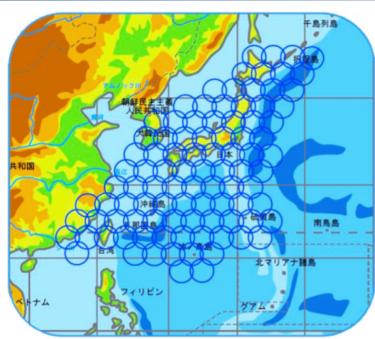
- ➤ Massive MIMO\*2技術の衛星搭載アンテナへの応用
  - マルチビーム制御方式の高度化、軽量化、小型化に期待
- ▶ モバイルフェムトセル
  - 船舶・航空機等への衛星(5G)NW展開
- ➤ 高効率多元接続技術(NOMA\*3,Filtered OFDM\*4等)
  - 広域カバレッジでの同期条件の緩和等に期待
- \*1:三浦周 他, "5G モバイルネットワークにおける衛星通信の役割に関する調査研究,"信学技報, SAT2015-19, RCS 2015-141, pp. 47-52, Aug. 2015
- \*2:須山聡, 小原辰徳, シンキユン, 奥村幸彦, "高周波数帯ハイブリッドビームフォーミングを用いた超高速Massive MIMO におけるアナログビームフォーマ構成の検討, "2015 信学総大, no. B-5-105. 滋賀県草津市, Mar. 2015
- \*3: Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li, and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," Proc. IEEE VTC-Spring' 13, Sept. 2013
- \*4: J. Li, K. Kearney, E. Bala, and R. Yang, "A resource block based filtered OFDM scheme and performance comparison," 20th International Conference on Telecommunications, Casablanca, Morocco, May2013.

# 最新の衛星通信技術開発動向

【文献】門脇、「IoT/5G 時代の衛星通信技術」、信学会誌 Vol.99 No.3 pp.248-253 2016 年3 月



## 広域分散する多数センサーノード収容技術



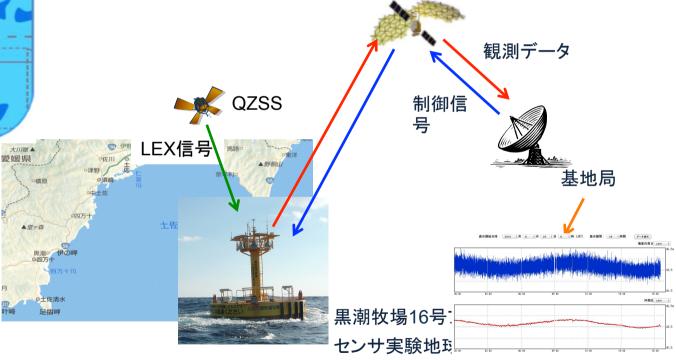
ビームアンテナ\*1 (日本のEEZをカバー)

\*1: 辻宏之 他, "衛星/地上共用携帯電話システムの開発と現状,"信学技報, SAT2013-18, AP 2013-56, pp. 41-46, July 2013

STICS構想で検討された超マルチ

#### STICS構想における主な技術開発(検討)項目

- ・ディジタルビームフォーマー(DBF)
- ・チャネライザ
- 高利得大型反射鏡アンテナ



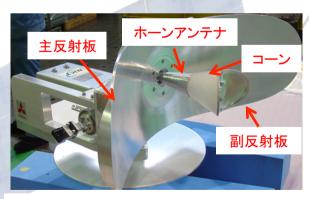
ETS-VIIIを用いたGPS津波計センサー実証実験 (2013-2014)\*2

\*2:山本伸一 他, "技術試験衛星VIII 型(ETS-VIII)を用いた海上ブイからのデータ伝送実験─津波の早期検出を目指して ─, "信学技報, SAT2014-26, pp. 5-10, Aug. 2014



### 海洋域・空域ブロードバンド移動体衛星通信技術

- ・ 海外衛星通信事業者のサービスイン
  - Inmarsat-5 (Global eXpress) (U/L: 5Mbps, D/L: 50Mbps, w/60cmøANT)
  - O3b (U/L:120Mbps, D/L: 350Mbps, w/2.2møANT)
- 船舶/海上無人中継器(ASV)用地球局開発プロジェクト
  - 総務省「海洋資源調査のための次世代衛星通信技術に関する研究開発」
    - 調査船用小型地球局 (U/L:10Mbps, w/80cmøANT)
  - SIP「次世代海洋資源調査技術」
    - 海上無人中継器(ASV)用超小型地球局(U/L: ≈ 5Mbps w/54cmøANT)
- 航空機用低プロファイルアンテナ

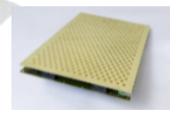


総務省プロジェクトでNICTが開発したWINDS用航空機搭載アンテナ\*1

\*1: 総務省電波利用料「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発」による



Kymeta社Flat Pannel & S/W-based Antenna (Kyme社HPより)



Phasor社Antenna\*2

\*2: http://www.satellitetoday.com/ technology/2013/10/18/phasorsolutions-demonstrate-ku-band-flatsatellite-antenna-system/



総務省プロジェクトで NICTが開発中の調 査船用小型地球局 (完成イメージ)



## 海洋ブロードバンドの研究開発・応用例



- EEZ内でレアアース等の貴重な資源の存在を確認
- 広域の海洋資源調査に海洋ブロードバンドが有効

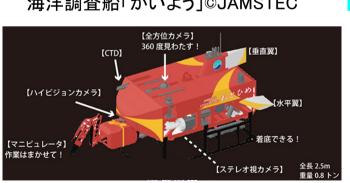




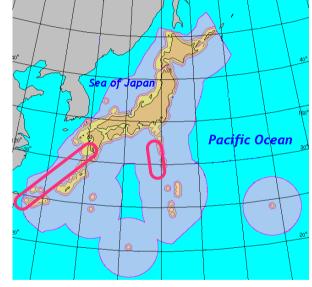
車載地球局



海洋調査船「かいよう」©JAMSTEC



AUV/ROV「おとひめ」©JAMSTEC



日本の排他的経済海域 (Courtecy by JAMSTEC)

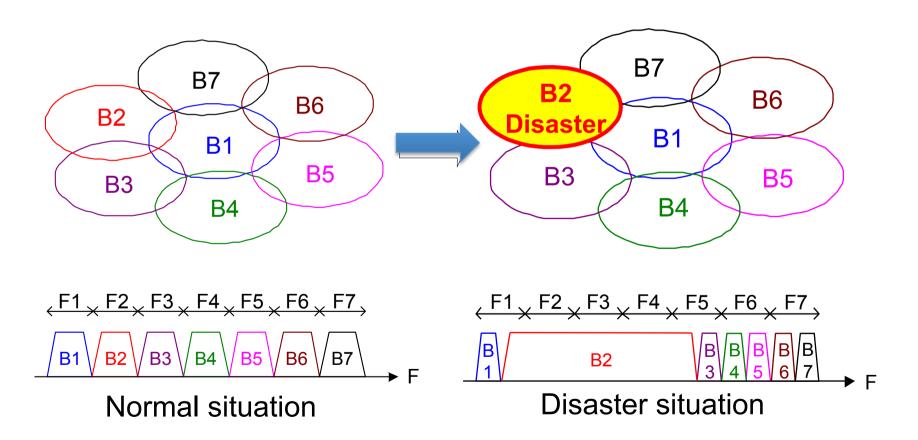


陸上の研究所から遠隔操作



## 帯域可変中継器の要素技術開発

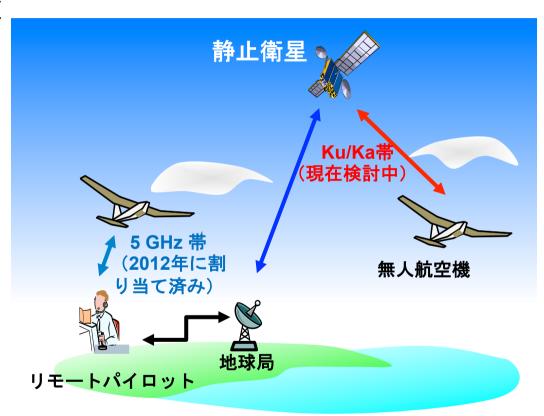
- 限りある衛星の通信リソースを効率的に利用するため、トラフィックの変化に合わせたフレキシブルな中継が必要
- 周波数可変(チャネライザ)、ビーム可変(ディジタルビームフォーマ)





## UAVの衛星通信

- 無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)を世界規模で運用するための検討が国連機関等で検討中
  - ➤ 国際電気通信連合(ITU)
    - ・ 無人航空機に利用する 周波数割り当てを検討
  - ➤ 国際民間航空機関(ICAO)
    - 無人航空機の運航方法を検討
- 近距離の制御には全世界で5GHz 帯の電波の利用が決定済み
- 海上や遠距離での制御は衛星を 利用
  - > 周波数や運用方法は現在検討中





## 光衛星通信技術

#### ■ NICTにおける軌道上実証

- ➤ 静止軌道高度のETS-VIと地上局間で、1Mbps双 方向通信に成功(1994)
- ➤ LEO衛星OICETSと地上局間で、U/L: 2Mbps, D/L: 50Mbps双方向通信に成功(2006)\*1
- ➤ LEO超小型衛星SOCRATES搭載SOTAと地上 局間で、10Mbps双方向通信成功(2014)\*2





SOTA光学系と電気系

#### ■ 海外の動向

- ➤ NFIRE(米)とTerraSAR-X(独)が5.6Gbps衛星間 通信に成功(2008)
- ➤ NASA/LADEE衛星が月周回軌道と地上で 622Mbps伝送に成功(2015)\*3



LADEE: 月周回軌道と地上間の光伝送イメージ

<sup>\*1:</sup>T. Jono, et al, "Overview of the inter-orbit, and the orbit-to-ground lasercom demonstration by OICETS," Proc. SPIE, vol.6457, pp. 645702-1-645702-10, 2007

<sup>\*2:</sup>秋岡眞樹, 他, "超小型衛星SOCRATES ミッションについて,"第57 回宇科連講演集, no. JSASS-2013-4001, 2013

<sup>\*3:</sup> http://www.nasa.gov/ladee



## 衛星搭載用超高速光通信装置(HICALI)の開発

High Speed Communications with Advanced Laser Instrument

衛星・地上間において10Gbpsクラスの光フィーダリンクを実現するための光通信装置

#### 特長

- 通信速度:10Gbpsクラス、利用波長:1.5 µm
- 宇宙環境に耐えられる光通信機器としては 世界最速
- 2021年に打ち上げの次期技術試験衛星に搭 載を予定
- 天候に左右さにくいサイトダイバーシティを考慮した地上局を検討中

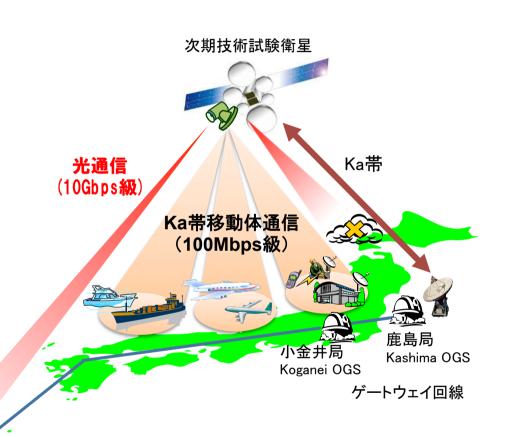
#### 応用例・利活用シーン

機上の大容量のデータを瞬時に地上局へ 送信したい… 光通信はこれからの宇宙・ 航空機通信の要求に応える唯一の技術

#### 開発状況

- 2015.9 部分試作によってデバイス評価
- 2016.2 BBMで光出力特性評価
- 2016.5 EMシステム設計中





# 世界の衛星通信システムの最新動向と将来展望



## 欧米の新たな衛星通信システム例

• HTSによるサービスコストの低廉化が進展

#### Epic (事業者:Intelsat)

概要:既存の送受信機を活用できるオープン・アーキテクチャー方式を採用、インテルサット29e、同33eの2機を、2015年から2016年にかけて打ち上げる計画。 ビーム数:10

周波数: C, Ku, (Ka) キャパシティ: 25~60Gbps 伝送速度: eXConnectサービス

Downlink: 40~160 MbpsUplink: 1~4 Mbps

打上:2016年1月27日(I-29e) 用途:航空機等移動体





#### Inmarsat-5 (事業者:Inmarsat)

概要:全世界を3機でグローバルにカバーしKa帯衛星通信サービスを実施、2015年8月から3機体制でフルサービスの予定

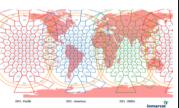
ビーム数:89ビーム/1機 キャパシティ:50Gbps 伝送速度:Maritimeサービス

Downlink: 50Mbps(60cm)Uplink: 5Mbps(60cm)

打上:2015年8月28日に3機体 制

用途:航空機、船舶、車載、固定





#### O3b (事業者: O3b Networks)

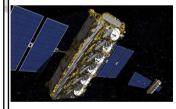
概要:新興国市場への3G/ WiMAXワイヤレスサービスを 提供

ビーム数:10可動ビーム/1機 キャパシティ:84Gbps(8機構成)

伝送速度:大型船舶用の例 - Downlink: 350Mbps(2.2m) - Uplink: 150Mbps(2.2m)

打上:2014年12月18日に12 機を打上げ、現在軌道上運用

用途:船舶、固定





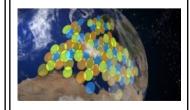
#### KA-SAT (事業者:Eutelsat)

概要:欧州で最初のKaバンドマルチビーム衛星で、衛星ブロードバンド通信サービスをtoowayサービスとして提供ビーム数:82ビーム/1機キャパシティ: 70Gbps 伝送速度:toowayサービスの

例
•Downlink: 10.24Mbps(max)

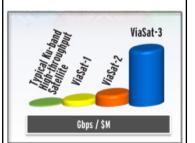
·Uplink: 4.096Mbps(max) 打上:2010年12月26日 用途:航空機、固定、車載

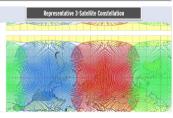




#### Viasat-3 (事業者:VIASAT)

概要: 衛星3機で全地球をカバーし、Kaバンドで地上系および移動体(航空機、船舶)の衛星ブロードバンドサービスを提供ビーム数: 1000ビーム/1機キャパシティ: 1Tbps 伝送速度: exedeサービス例・Downlink: 20Mbps(75cm)・Uplink: 10 Mbps(75cm) ・Uplink: 10 Mbps(75cm) 打上: Viasat-1は2011年10月19日、Viasat-2は2016年予定、Viasat-3は2019, 2020, 2021年用途: 航空機、固定、車載





出典:各社Webサイト等より



## LEO衛星群によるインターネットサービス計画

#### ■ SpaceX LEO Constellation\*1

- ▶ 4,000機のLEO衛星群システム
- ➤ 2機の実験衛星ライセンス(Kuバンド)確保
  - ▶2016年中に打ち上げ計画
- ➤ ITU-RにはKu, Ka-bandでファイリング

#### ■ OneWeb\*2

- ➤ 648機のLEO(高度1,200km)衛星群システム
- ➤ ITU-RからKu-bandライセンスを確保
- ▶ 初号機は2018年に打ち上げ計画
- ➤ 衛星製造はAirbus Defense and Space社
- ➤ Intelsat, EchoStar, Virgin, Coca-Cola等が出資



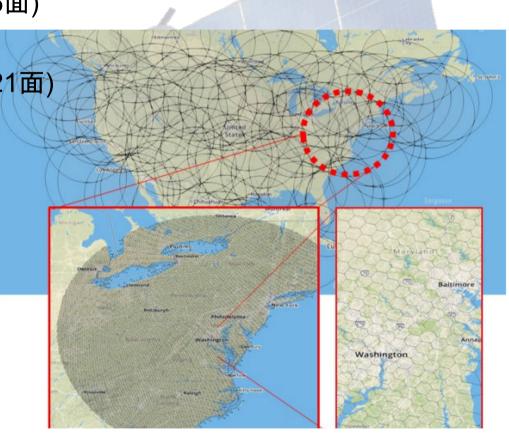
(Space News on 29-Jun-'15)

<sup>\*1:</sup>http://spacenews.com/spacex-opening-seattle-plant-to-build-4000-broadband-satellites/

<sup>\*2:</sup> http://oneweb.world

## wic LEO衛星群によるインターネットサービス計画(2/2)

- Boeing Vバンド衛星コンステレーション構想
  - > 第1段階:1,396機 (軌道傾斜角45° x 35面 + 55° x 6面)
  - > 第2段階:1,560機 (軌道傾斜角55° x 12面 + 88° x 21面) ※ 軌道傾斜角88°の軌道高度 のみ1,000km、他は1,200km
  - ➤ 5G移動通信と同じVバンドの 使用を計画(FCC申請)
    - ▶セルサイズ:8~11 km
    - ▶各セルに5GHz帯域を割り当て
  - ➤ Cバンドについても言及





## UAV等によるインターネットサービス計画

- FacebookのUAV型プラットフォームプロジェクト
  - ➤ "Aquila": B-737の主翼程度の大きさ、プリウスの1/3程度の重さのHALE-UAVプラットフォームを開発\*1
  - ▶ レーザーによる通信システム採用予定:10 Gbps
  - ▶ 遠隔地や通信インフラの乏しい地域にサービス提供



(New York Daily News on 30-Aug-'15)

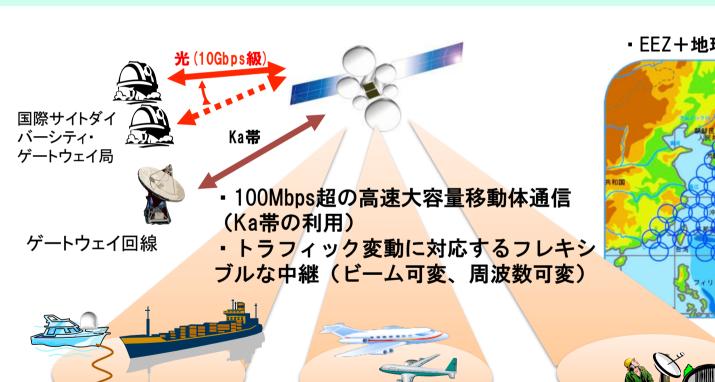
- Google "Loon"プロジェクト\*2
  - > バルーン型プラットフォーム10,000機のシステム
  - ➤ 高度 18 ~ 20 km
  - ➤ バルーン製造にはCNESが協力

<sup>\*1:</sup>http://www.theguardian.com/technology/2015/jul/31/facebook-finishes-aquila-solar-powered-internet-drone-with-span-of-a-boeing-737 \*2: https://www.google.com/loon/



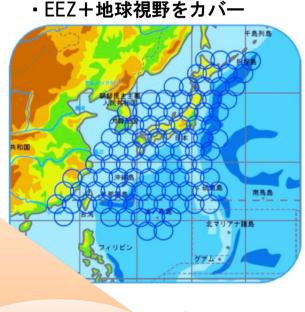
## 次期技術試験衛星のシステムイメージ

既存の衛星通信での課題解決に必要な技術開発を実施し、非常時、海洋、航空を含む宇宙空間に100Mbps級のブロードバンド通信を可能とする衛星通信システムの技術実証と競争力の確保を目指す



航空機ブロードバンド

(機内インターネット等)





耐災害通信 (バックホール回線等)

【参考】次期技術試験衛星に関する検討会 報告書、2015.4

船舶ブロードバンド

(海洋資源調査等)

## まとめ

- ■IoT/5Gの時代にあっても、衛星通信の利活用が効果的な応用分野は広範に存在する
- ■それぞれの利活用形態に応じた技術課題も多い
- ■一部の技術課題に関しては、研究開発が進みつつある
- ■世界ではHTSの出現、非静止衛星群やUAV群等による新たなシステム計画など、これまでにない変革が進展中
- ■我が国も技術開発と国際競争力の確保のため、新たな取り 組みが期待されている