NICTワイヤレスネットワーク総合研究センター
オープンラボ2021

2021年02月12日

高高度プラットフォーム（HAPS）による5G網と連携した38GHz帯の高速無線通信システム開発

スカパーJSAT株式会社
宇宙事業部門
スペースインテリジェンス事業部
鈴木　淳

本日の内容

- ✓宇宙事業における衛星・HAPS (NTN ※1)の展開
- ✓HAPSの機体特性と国際標準化動向
- ✓ 総務省HAPS研究開発※2の概要
- ✓ HAPS実用化に向けた課題と今後

※1　NTN：Non-Terrestrial-Network

※2　総務省の「電波資源拡大のための研究開発（JPJ000254)」によって実施した成果を含みます。

SKY Perfect JSAT Corp. proprietary information

今後の宇宙事業と非地上ネットワーク(NTN*)展開

◆**2030年頃の宇宙事業とNTN展開の将来像**

陸上だけでなく上空・海上で、ヒトだけでなくモノもつながっている社会において、バックアップや非常用回線だけではなく、陸上の無線システムでカバーできないエリアへサービスを拡張するシステムとして、衛星、HAPSの役割が増していく。

今後のNTN展開の事業分野

■宇宙インフラ × 大容量データ × AI技術

＝ **上空からの見守り社会に貢献**

■衛星＋HAPS × 携帯電話網

＝ **マルチレイヤ・スペースの活用に貢献**

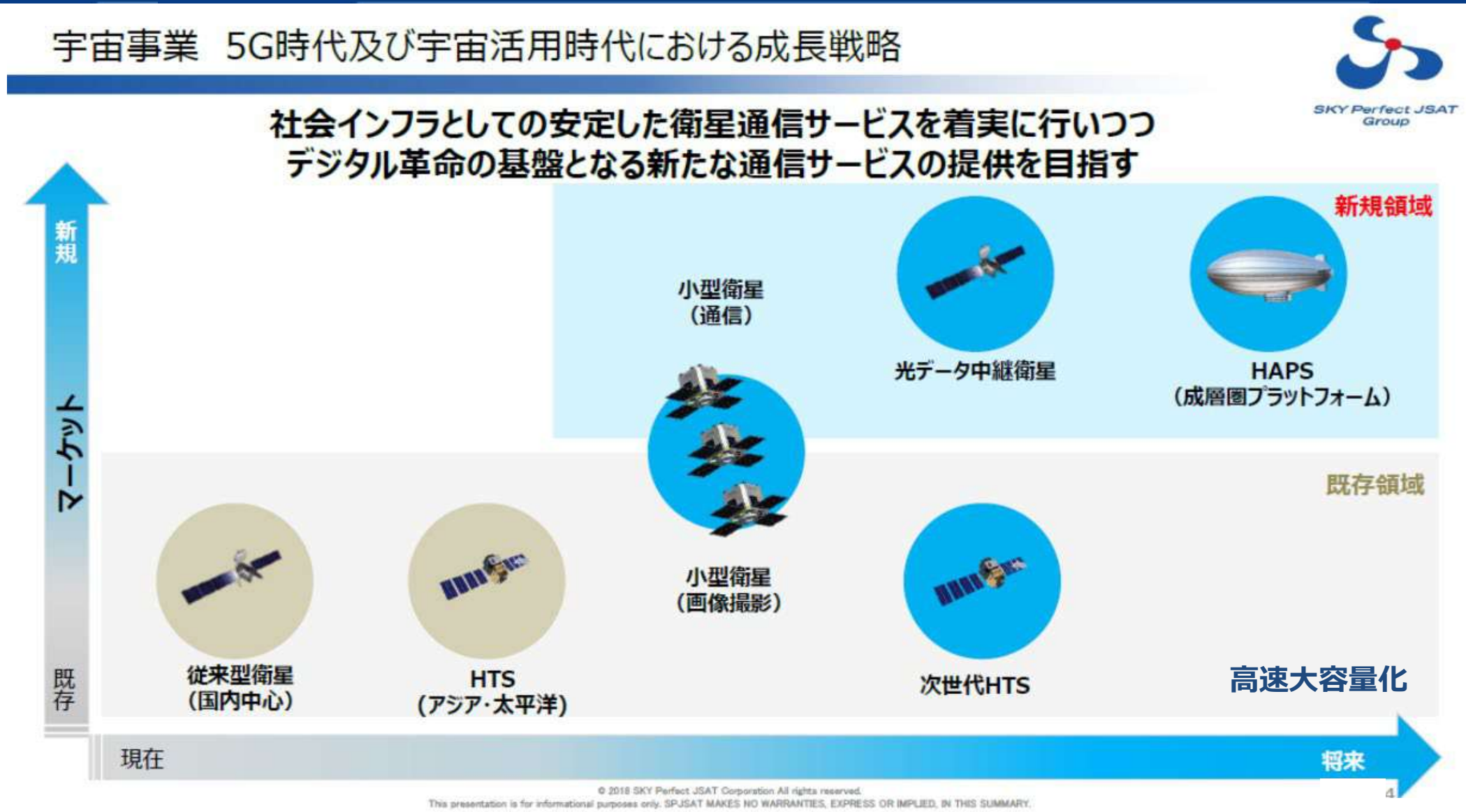
■モノ（無人機）× ヒト

＝ **無人機とコラボする社会を支援**

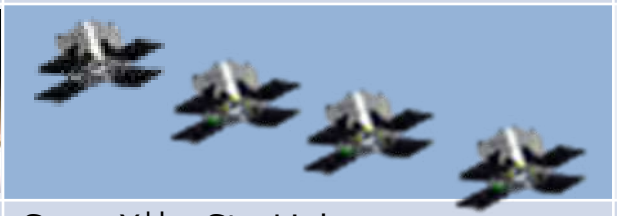
当社が掲げるNTN展開と宇宙事業ビジョン

宇宙から海洋まで多様なSpaceの開拓+宇宙データを活用した事業の創出

NTNとしての衛星・HAPSの展開イメージ



NTNにおける衛星・HAPSへの期待（特性比較）

項目	静止衛星 GEO　HTS＊ （運用中）	非静止小型衛星　LEO （構築/一部展開中）	HAPS （開発中）
サービスエリア	リージョナル 3機展開によるグローバル	コンスタレーションによる グローバル	都道府県相当のエリア 50機～100機で日本全国エリア
事業展開の規模 柔軟性・自由度 制度的な課題	規模は中程度、 柔軟性は高い 確立しており、課題は少ない	規模が大きい 柔軟性が低い 寡占性が高く、周波数調整に課題	規模は小さい 柔軟性が非常に高い 航空関連の制度整備が必要
周波数　サービスリンク（上段） フィーダリンク（下段）	S帯／Ku帯／Ka帯	L帯／S帯／Ku帯	L帯／S帯／Q帯等
	C帯／Ku帯／Ka帯	Ku帯／Ka帯／Q・V帯	Ka帯／Q・V帯等
技術特性　伝搬遅延 高速大容量性 サービスセルサイズ	ある程度大きい（数100msec) 4Gレベル 数100Km程度	中程度（10msec以下） 4Gレベル 数10Km程度	非常に小さい（1msec以下） 5G/4Gレベル 数Km程度
イメージ図			
事業展開・検討状況	スカパーJSAT社のHTS Horizon3e、JCSAT-1C、JCSAT-17 国内携帯電話事業者が運用中 ＊HTS:大容量通信衛星	SpaceX社　StarLink 国内携帯電話事業者と事業計画中 AST社　Space Mobile 国内携帯電話事業者と事業計画中	エアバス社　Zephyr 開発中 国内携帯電話事業者も検討中 HAPSモバイル社　Sunglider 開発中 国内携帯電話事業者も検討中

HAPS機体タイプ別の特性比較

項目	飛行船	固定翼	気球
機体外観			
スケーラビリティ	・構造体を持たないので、体積を増やせば、ペイロードも比例して大きくできる	・大きくすればするほど機体を維持するため構造を強化する必要があり。 ・ペイロードを増やすには限界が生じる	・構造体を持たないので、体積を増やせば、ペイロードも比例して大きくできる
設備投資/運用要件など	・大きな機体で広い場所を確保が必要 ・高価なヘリウムガスを調達が必要	・燃料はリサイクル可能リチウム系バッテリー ・消耗部品の保守のみで維持が可能 ・スケールが小さい分立ち上げコストは、飛行船に比べて安価	・動力源を持たないので、製造コストは安い ・燃料のヘリウムが高価、リサイクル不可 ・燃料費用が運用コストを圧迫する要因（水素ガス利用の開発が進めば安価）
ペイロード搭載性と通信プラットフォームとの親和性	・大容量通信装置の搭載が可能 ・幅広い通信レンジに対応が可能	・ペイロード搭載重量は、最大100kg程度 ・大容量通信装置の搭載は困難	・大容量通信装置の搭載が可能 ・動力がゼロであり、定点滞留が困難 ・通信プラットホームとしての親和性は低い
機体の操縦性	・動力源はあるが、機体が大きいため、上昇・下降や離着陸の操縦が難しい	・航空機と同様、飛行時の小回りが利く ・離着陸での操縦は比較的容易である	・航空機との干渉回避の運用制限を設ければ離着陸の操縦自体は容易 ・風の影響を受け、精密な操縦が利かない ・運用は海上か砂漠のような場所が必要
プラットフォームの運用性	・浮力制御や移動も容易 ・定点維持の運用は比較的しやすい	・定点維持は、1～2km範囲の旋回で運用可能	・動力源を持たないため、固定翼や飛行船と同じ狭い範囲での定点運用は難しい
障害時の安全性	・機体構造に問題が生じても、複数の気室構造であるため、ゆっくりと下降することが可能	・固定翼は航空機と同じで、機体不具合発生により急落下・墜落するリスクを伴う	・気嚢が破裂するようなことになれば、墜落する危険性はあるが、比較的軽量なため、パラシュート装備で安全性を向上可能
日本上空での運用性	・構造的に空気抵抗が大きいため、飛行速度を上げることが課題である	・強風条件であっても推力を維持するためのバッテリーの容量が課題となる	・北半球は夏でないと運用が難しい（冬は東風が吹かない）
適したサービス形態	・本格的な通信プラットフォーム	・一時的な通信利用 ・リモセンや監視業務	・特定緯度（赤道に近い）エリアでのグローバルなインターネット接続

SKY Perfect JSAT Corp. proprietary information

HAPSをめぐる国際標準化の動向

項目	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
ITU-R HAPSによる固定通信用の周波数標準化	▲WRC-19 38-39.5GHz帯がHAPS広帯域通信システム向けフィーダリンク周波数の特定					
ITU-R HAPS搭載IMT基地局による移動通信用の周波数標準化				日本提案	▲WRC-23 2.7GHz以下のHAPSからIMT移動局への直接移動通信のサービスリンク周波数の特定	
3GPP NTN(Non-Terrestrial-Network)の標準化			▲Release-17発行	Beyond5GとHAPSを含むNTNとのネットワーク融合にかかわる規定	▲Release-18発行	
ICAO＊,RTCA＊ HAPS及びドローン運航管理の標準化		日本提案	▲MOPs ＊発行 5GHz帯でのHAPSを含む無人航空機のC2リンク（Command＆Control）システムにかかわる規定	▲SARPs＊発行		

＊ICAO： 国際民間航空機関　　＊SARPs（Standard and Recommended Practices）： ICAOの標準文書

近年、各標準化団体においてHAPSにかかわる議論が活発化。（＝この数年の活動が肝要）

SKY Perfect JSAT Corp. proprietary information

総務省HAPS研究開発の実施体制（固定系＋移動系）

◆令和２年度～令和5年度　総務省　電波資源拡大のための研究開発

成果目標：HAPSを利用した無線通信システムに係る周波数有効利用技術の実現

技術課題
固定通信システム

総合実証試験
スカパーJSAT
NTTドコモ
パナソニック
NICT

ア　5G網等と連携したHAPSシステムの全体設計／評価及び回線制御技術
- ア－１　HAPSシステムの全体設計　（スカパーJSAT、NTTドコモ）
- ア－２　HAPS伝搬測定・統合実証試験　（NTTドコモ、スカパーJSAT）
- ア－３　5G網と連携したHAPS回線制御技術　（NTTドコモ、スカパーJSAT）

イ　HAPS搭載のアンテナ技術と5G通信機器　（パナソニック）

ウ　ミリ波帯の電波伝搬損失の補償技術　（スカパーJSAT、NTTドコモ）

エ　HAPS向け地上用アンテナ技術　（NICT、スカパーJSAT、NTTドコモ）

オ　周波数共用技術開発　（スカパーJSAT、NTTドコモ）

運営委員会にて、実施方針、共通課題を確認

技術課題
移動通信システム

SoftBank

カ　高精度時間同期技術　（ソフトバンク）

キ　ネットワーク連携干渉回避技術　（ソフトバンク）

ク　ネットワーク連携干渉キャンセル技術　（ソフトバンク）

総務省HAPS研究開発（固定系）の背景・目的

背景

- 5Gシステムにおける高速大容量化、迅速な基地局の全国整備
- Beyond５G時代におけるカバレッジの拡張（上空・海上・宇宙）
- 自然災害に強い、**Non Terrestrial Network (NTN) の整備**
- 世界的なHAPS機体開発の急加速とHAPS関連標準化の活発化

研究開発の目的

5G／Beyond5Gとネットワーク連携したミリ波帯（38GHz帯）高速大容量なHAPSシステムの実用化に必要となる無線通信技術を開発する。

HAPSのユースケース

HAPSへの取組みと狙い

スカパーJSAT（代表者）
5G時代の宇宙事業戦略として
衛星事業を着実に展開しつつ、
一体としてHAPS事業化を目指す。

NICT（共同研究者）
過去の成層圏開発経験とITUでの
周波数獲得実績を踏まえ、HAPSの
無線通信技術開発で主導的役割を目指す。

ＮＴＴドコモ（共同研究者）
「5G evolution」及び「6G」
に向けて、HAPSで移動通信事業のカバレッジを空・海・宇宙へ拡張することを目指す。

パナソニック（共同研究者）
HAPS及び衛星通信回線での
5G共通技術化実現で航空機、船舶向け通信サービスの向上と産業への貢献を目指す。

総務省HAPS研究開発（固定系）の全体概要

HAPSシステムの現状

① HAPS機体は全世界にて開発中で実用化されてない。
② HAPSの機体タイプ別で飛行性能、搭載能力が異なる。
③ HAPS搭載能力は、開発機体に依存し異なる。
④ HAPSの滞留位置は風の影響を受け不規則に変動する。
⑤ HAPSと地上間のミリ波帯伝搬モデルが確立してない。
⑥ 5G網連携したHAPSの通信方式、ネットワーク方式、周波数共用技術が開発されていない。

開発課題

① 課題ア　全体設計
- HAPS機体のタイプ別の実用化を想定した全体設計
- 2023年の統合実証試験に用いるHAPS機体の選定
- 5G網と連携した通信方式・ネットワーク方式の確立

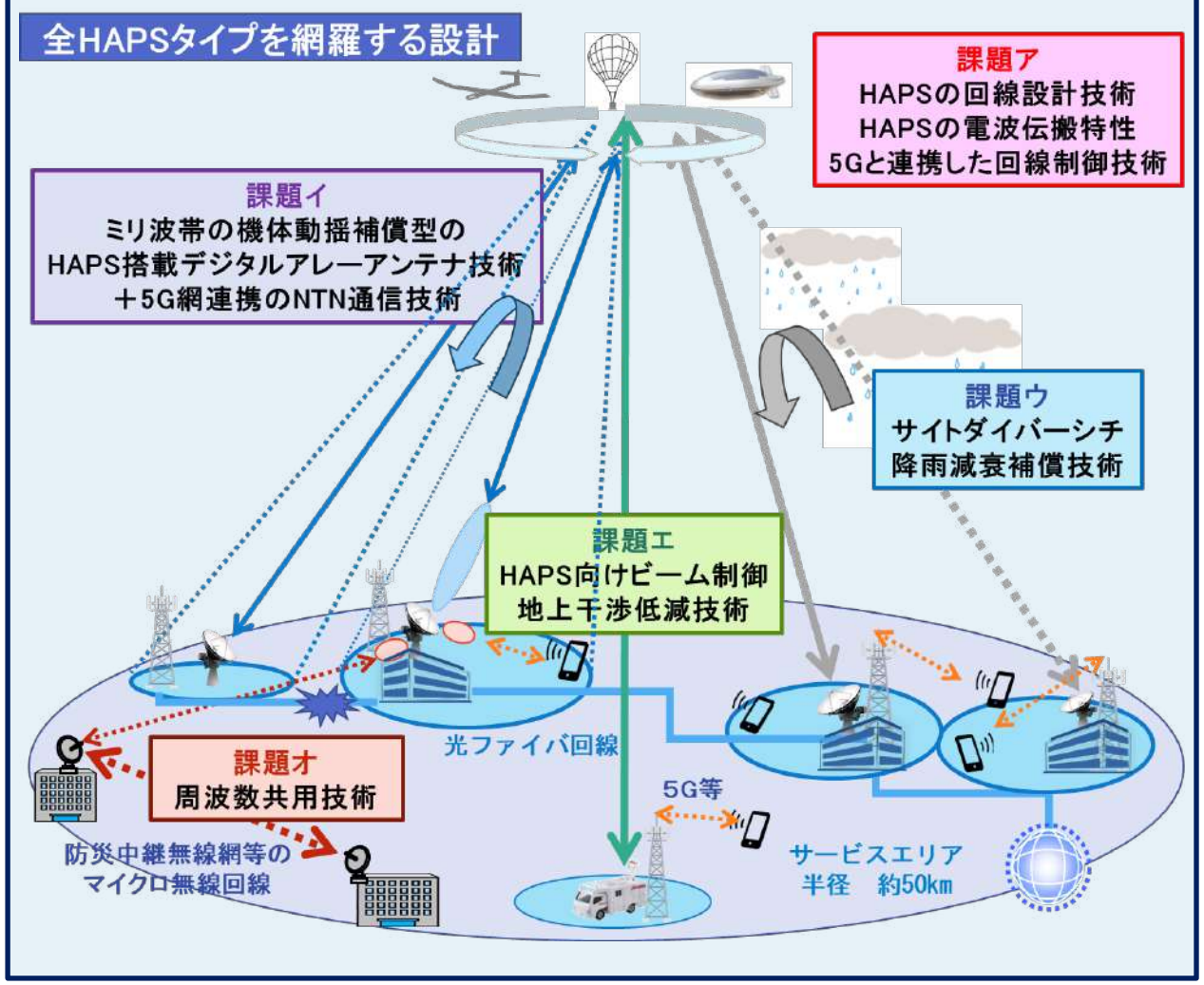
② 課題イ　HAPS搭載機器
- HAPS機体能力に応じた搭載アンテナ通信機器の開発
- 成層圏環境でのHAPS搭載のNTN通信機器の開発

③ 課題ウ　降雨減衰補償
- 5G網と連携したサイトダイバーシチ技術の開発
- 国内における38GHz帯降雨減衰量推定モデルの構築

④ 課題エ　地上用アンテナ
- 風の影響で不規則に滞留するHAPSの追尾方式の開発
- 5Gとの干渉軽減を可能とする通信方式の開発

⑤ 課題オ　周波数共用
- 5Gと連携するネットワーク・周波数帯の標準化

概要図



総務省HAPS研究開発（固定系） 4か年スケジュール

	課題内容	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度
		基本設計	開発・試作	単体試験	総合試験・評価
課題ア-１	HAPS全体設計・評価	基本設計 実用化イメージの反映	詳細設計への反映	統合実証試験計画	HAPS全体評価
課題ア-２	HAPS伝搬測定/統合実証試験	小型航空機測定	HAPS測定機の地上試験	HAPSで成層圏測定	HAPS統合実証試験
課題ア-３	５G網と連携した回線制御技術	要件整理 3GPP動向分析	回線制御技術の確立 3GPP Release17	アルゴリズム開発 システムへ実装	評価検証 3GPP Release18
課題イ	HAPS搭載アンテナ/通信技術	基本設計 原理試作	要素技術試作・試作 実装・デバイス開発	インテグレーション 単体試験	HAPSへ艤装 統合実証試験
課題ウ	ミリ波の伝搬損失の補償技術	基本構想の設計 降雨減衰量の測定計画	降雨補償技術開発 長時間伝搬測定	技術開発実装 伝搬モデルの確立	降雨補償効果評価
課題エ	HAPS向け地上アンテナ技術	基本設計・試作	要素技術開発・試作	インテグレーション 単体試験・5G連携試験	
課題オ	周波数共用技術	基本共用検討 標準化の方針	詳細共用検討	WRC-23準備	WRC-23 対応

HAPSシステムの全体設計（課題アー１）

実施概要

① ブロードバンド通信に適したミリ波帯（38GHz帯）を利用する

② **38GHz帯HAPSで、Ku帯静止衛星と同等の稼働率、周波数利用効率(Bit/Hz)1.1倍を達成する。**

③ **5G網と連携した回線制御技術、降雨減衰補償技術、干渉軽減技術を統合する。**

④ **実用化を想定したHAPSシステムの全体設計**を行う。

実施状況

① 全体設計

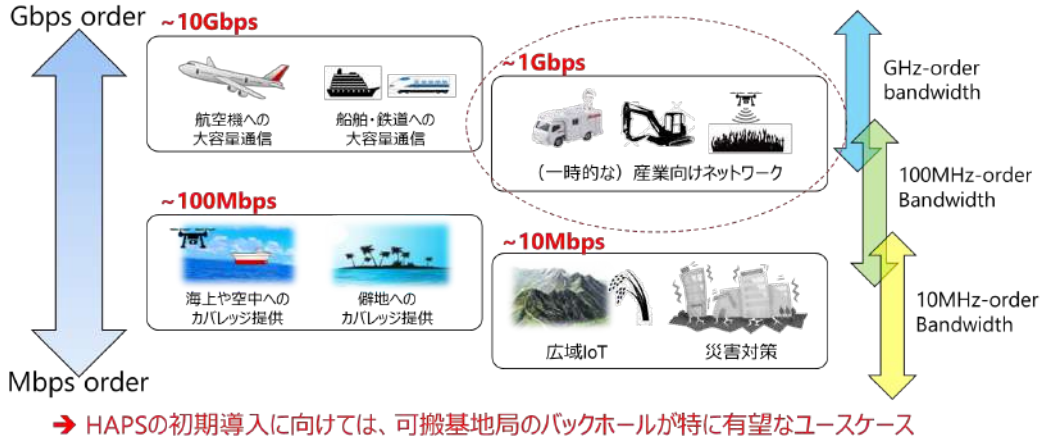
全体システムについて、各課題の目標設定のため、**開発システムの回線設計の基本諸元を確認**した。

② 実用化を詳細要件へ反映

実用化シナリオの抽出とユースケースの明確化により、開発システムの全体イメージを明確化した。

③ 統合実証試験の計画・評価

全体性能を評価するため行う統合実証試験の実施方法、実施項目や必要機材等の整理を実施した。統合実証試験で利用する候補HAPS機体も調査。



➔ HAPSの初期導入に向けては、可搬基地局のバックホールが特に有望なユースケース

図　開発システムの実用化イメージ

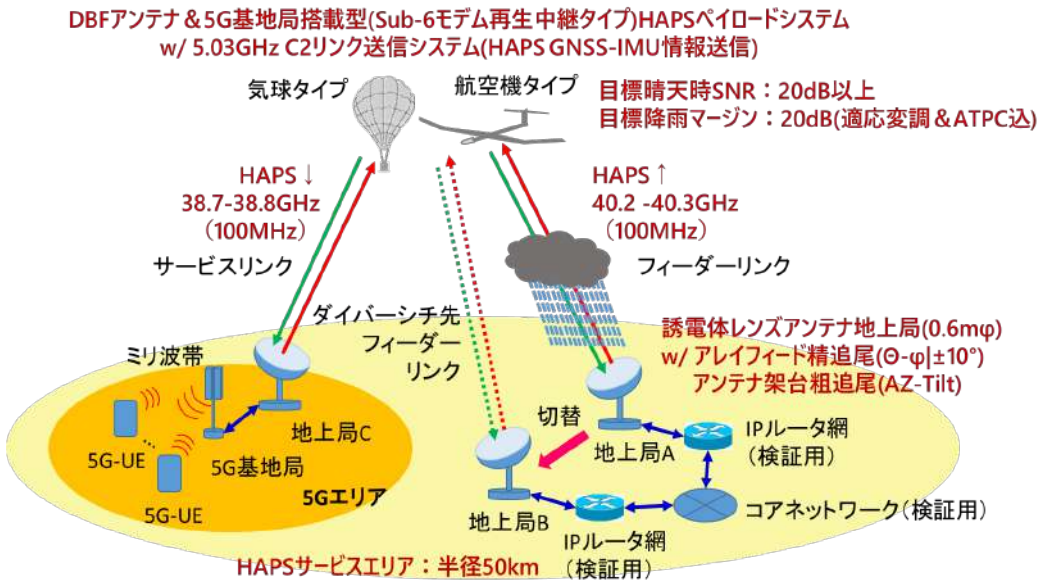


図　開発システムの基本諸元とシステム概要

HAPS伝搬測定と統合実証試験（課題ア―2）

実施概要

① **全体システム設計・評価のため、HAPS伝搬測定とHAPSによる統合実証試験を実施する。**
② HAPSもしくはそれに準じた機体のタイプ別の飛行性能や搭載能力等を調査検討、機体選定を行う。
③ 2020年度は小型航空機によるQ帯/S帯伝搬測定
④ 2021~2022年度はHAPSよるQ帯/S帯伝搬測定
⑤ 2023年度のHAPSによる統合実証試験は、HAPS搭載開発機器、地上開発アンテナを接続して5G網と連携して実施する。

実施状況

① **小型航空機による伝搬測定**
特定のHAPSユースケースを想定した測定環境にて、Q帯/S帯※の電波伝搬特性を測定。
また、実用化に向けた対外的アピールを図る。
※S-bandは電波伝搬の比較対象として測定
② HAPSによる伝搬測定／統合実証試験
実施方法、実施項目、必要機材の整理を実施。
候補となるHAPS機体の選定を実施中。

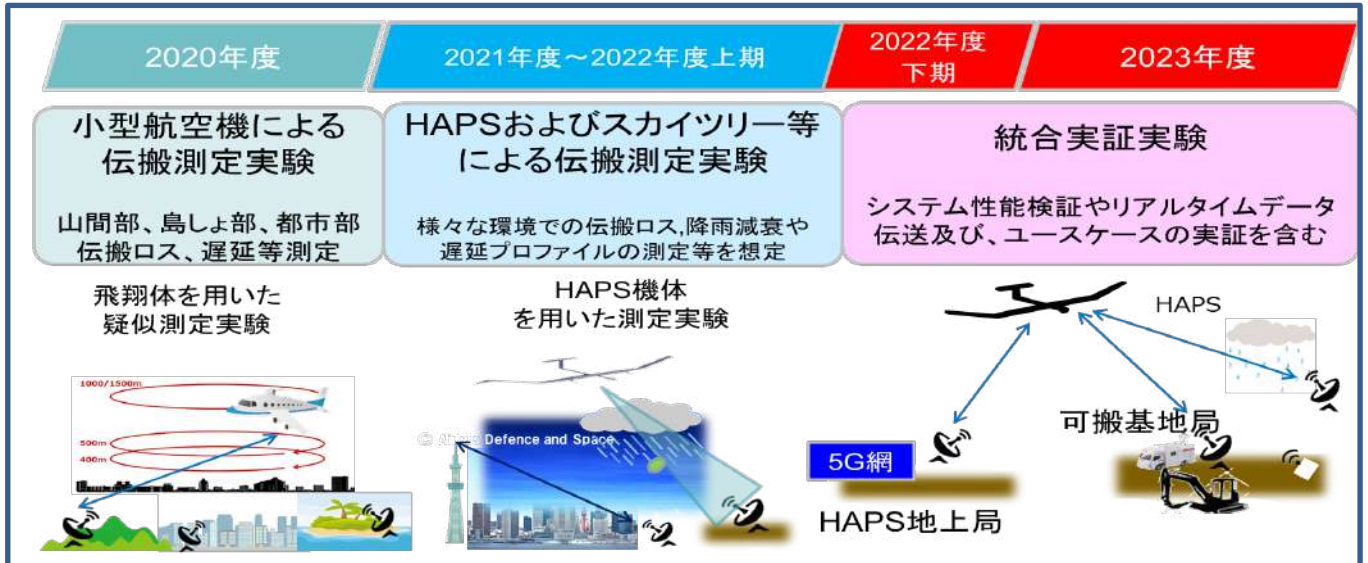


図　伝搬試験及び統合実証試験の4か年計画

想定ユースケース	測定場所
林業（一時的産業NW）	丹沢（山岳地帯）
市街地（災害時の回線提供）	小田原
離島（超カバレッジ拡大）	大島

番号	検証項目	必要機器
1	遅延測定	地上局（モデム含む）×1or2局、HAPS局（モデム含む）5G基地局、移動局装置、アプリケーション
2	スループット試験	地上局（モデム含む）×1or2局、HAPS局（モデム含む）5G基地局、移動局装置、アプリケーション
3	アプリケーション実証	地上局（モデム含む）×1or2局、HAPS局（モデム含む）5G基地局、移動局装置、アプリケーション
4	フィーダリンクのサイトダイバーシチの検証	地上局（モデム含む）×1or2局（3局）、HAPS局（モデム含む）
5	地上アンテナの捕捉追尾方式の検証	5.03GHｚ帯C2リンク（HAPS機上局・地上局）、HAPS地上局アンテナ
6	地上アンテナの周波数共用特性の検証	地上局、HAPS機上局、HAPS用モデム

表　開発するシステムの統合実証試験にて実施する検証項目

5G網と連携したHAPSの回線制御技術（課題ア―3）

実施概要

5G網とHAPSのネットワークが柔軟に連携することができる通信方式やネットワークアーキテクチャを明確化

① 5G で想定されるユースケースの要求条件をサポート
② 平時、災害時の用途への柔軟な回線制御を実現
③ 実用化に向けた標準化活動の推進

実施状況

① 5G網とHAPS間のネットワークアーキテクチャにおける機能分担、HAPS搭載機能について明確化に必要な情報収集および基礎的な技術検討を実施
② 5G網における災害の影響を考慮しHAPSシステムの設計を行うため、理想的HAPS地上局の設置場所や要求されるバックホール回線の通信速度、HAPSをバックホールに用いる場合のネットワーク構成例を複数検討（図１、図２参照）
③ **３GPPにおけるNTN標準化(Release17)会合に参加**し、最新の技術動向について情報収集し、**5GNRが長距離通信をサポートするため必要な提案**を実施

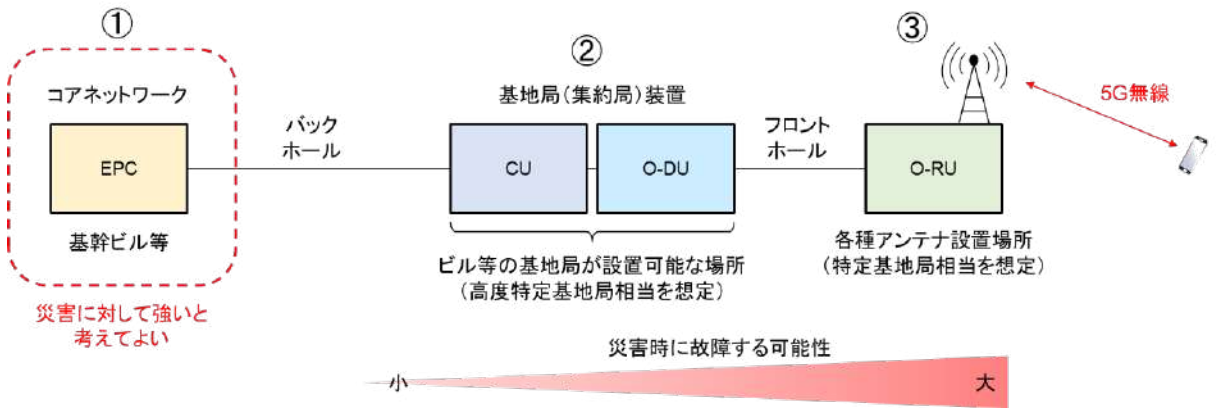


図　5Gネットワークの構成と設置場所を考慮した災害の影響分析

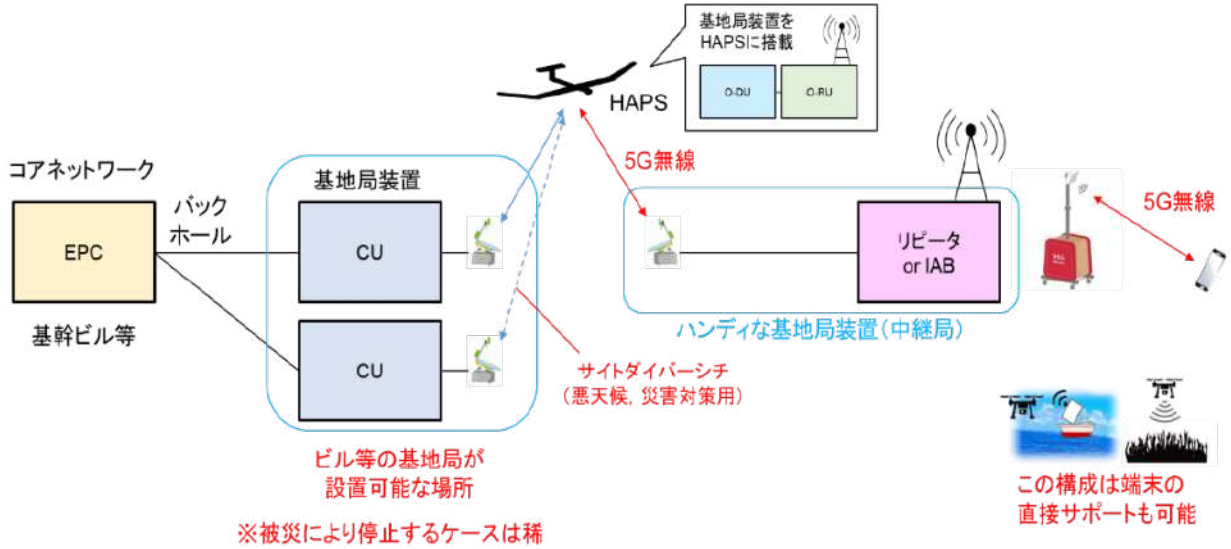


図　5G基地局装置（例：O-DUおよびO-RU）をHAPSに搭載する構成

HAPS搭載のアンテナ機器+5GNTN通信機器（課題イ）

実施概要

38GHzマルチビームデジタルビームフォーミング＋機体搭載型５G NTNスタンドアロン基地局構成で、機体の振動・ゆれやローリングを吸収しながら、任意の地点間回線接続を維持し続けられる通信技術を開発

① **全体設計**　スポットビームアンテナ技術の構想設計を行い、全体目標決定に資する原理限界、実装ロスを加味した目標仕様を導出

② **要素技術検討**　多地点スポットビームアンテナの原理試作、位相/偏波面補償、QVバンド基本設計、熱制御設計法・結果の反映

③ **HAPS搭載通信機器開発**　5G NTN基本プラットフォーム開発

実施状況

① 実現可能な装置条件を提供して他課題と協力してシステム要件を整理

② IFFTビーム制御手法の開発とアンテナ単一素子利得向上の検討、**アンテナ素子間位相差と偏波回転を補償**する方式開発、**サイトダイバシチ方式**開発、QVバンドRFフロントエンド部の構成/性能仕様の検討、**成層圏通信バス構成**の検討を行い、シミュレーション及び原理試作を用いてそれら要素技術を評価

③ 5G基地局をソフトウェアベースの仮想システムで構築する基本設計をおこない、回路基板の一次試作を実施

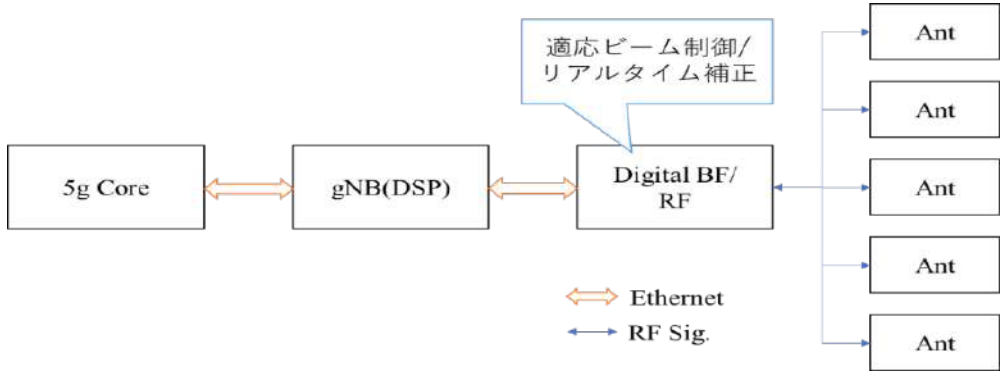


図　HAPS搭載アンテナ・通信系機器の全体構成

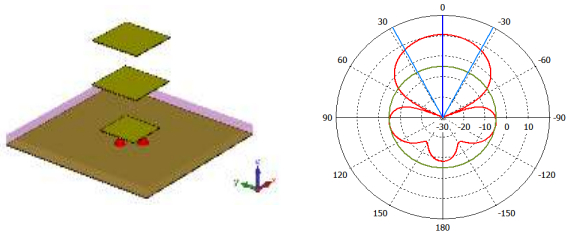


図　八木パッチ構造

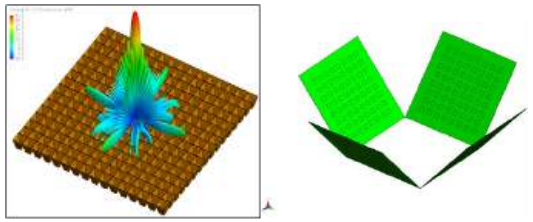


図　ホーングリッド構成

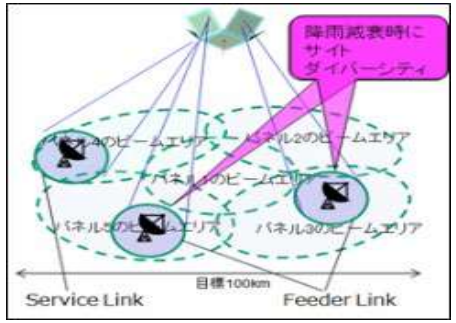


図　サイトダイバーシティの全体図

図　アンテナ面の層構成

ミリ波帯の電波伝搬損失の補償技術（課題ウ）

実施概要

① HAPS局と地上局間の降雨減衰推定に必要となる基礎データを**国内で精緻に降雨減衰量測定**を実施

② ITU-R降雨減衰量推定モデルに準じて分析することにより、**38GHz帯で国内用の降雨減衰量推定モデルを構築**

③ 38GHz帯の降雨減衰補償方策として、降雨断が予測される基地局から、**HAPSスポットビームの指向方向を切り替え、プロアクティブに降雨断がない無線通信経路に切り替えるサイトダイバーシチ技術**を開発

実施状況

① 全体構想：実用化を想定したHAPSタイプ別に降雨減衰補償の要素技術やサイトダイバーシチシナリオを抽出し、全体のシステム設計において目標とする降雨減衰補償量を整理

② 降雨減衰量測定：令和3年度予定の降雨減衰測定方針と測定仕様・データ取得方法について関係者にて検討し、測定場所の事前調整・工事、無線局免許取得、機材手配の対応中

③ **降雨減衰補償技術：サイトダイバーシチシナリオに基づいたアルゴリズム開発**の仕様作成と基本設計を実施

④ アルゴリズムのソフトウェアに組み込むHAPSの降雨減衰量推定モデルとしてITU-Rの推定モデル計算手法にて対応

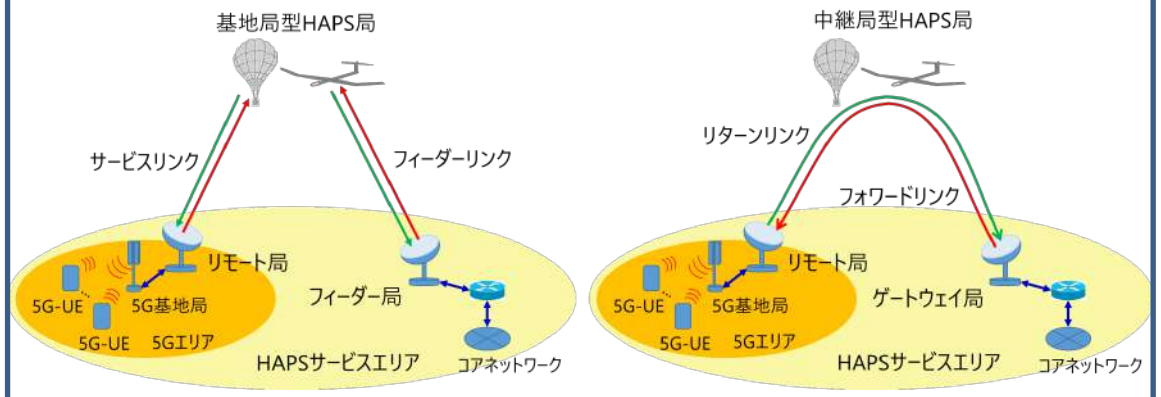


図　HAPS搭載局の種別における各無線リンク

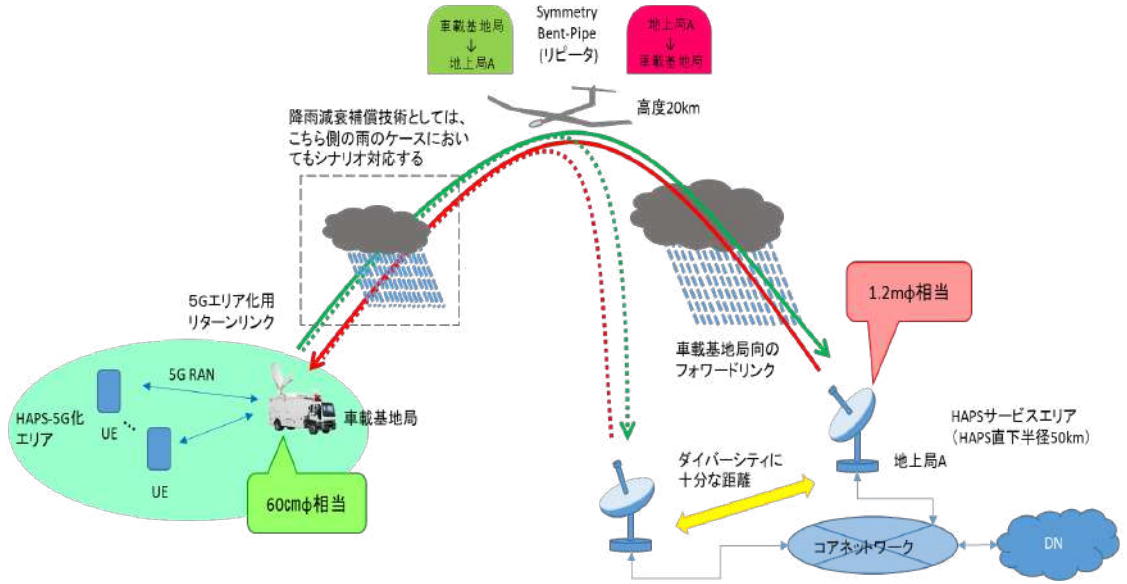


図　サイトダイバーシチのシナリオ例

HAPS向け地上用アンテナ通信技術（課題エ）

実施概要

自律的に不規則な位置変動するHAPS方向を常に捕捉追尾する技術とともに、同一周波数帯を用いる他システム無線局との間に周波数共用可能とする干渉軽減技術を確立する。**携帯電話網と周波数共用を実現するため、携帯電話網と連携した通信制御技術**を確立する

① 全体設計（アンテナ系+通信系）
② アンテナ方式と捕捉追尾方式の検討
③ 携帯電話網と周波数共用のためのアクセス通信方式の検討

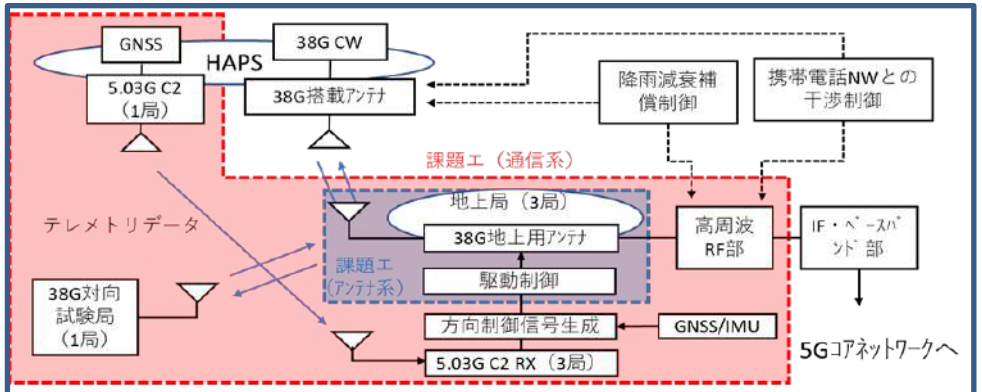
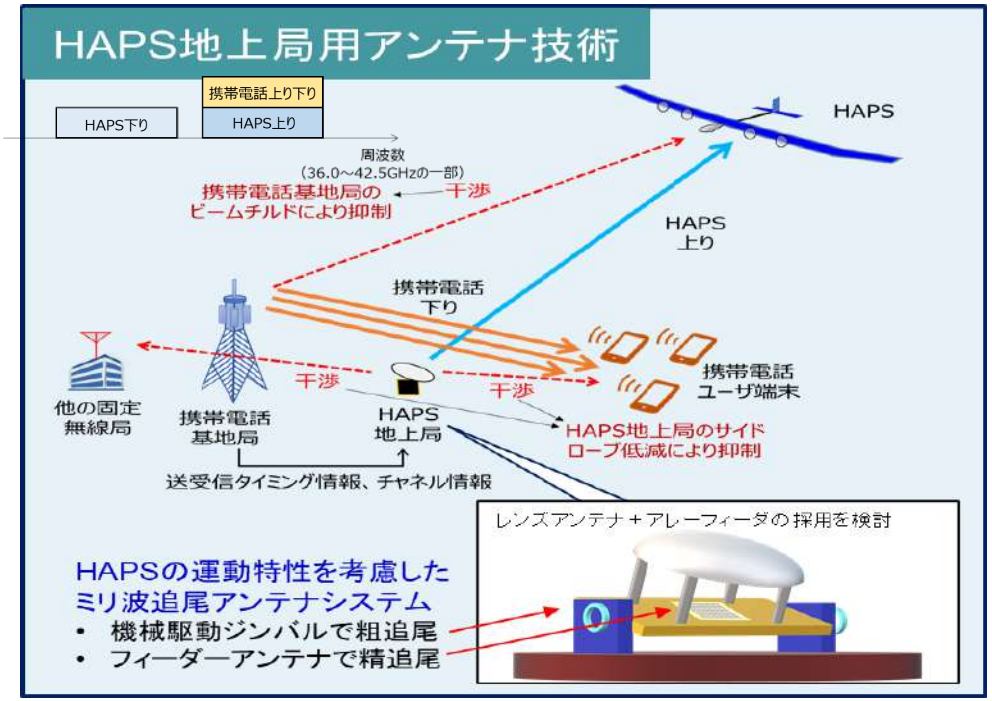


図　全体設計範囲（アンテナ系と通信系）

実施状況

① 全体設計：アンテナ方式、粗・精追尾方式、通信方式等を設計
② アンテナ方式：ビーム幅2°回線設計を満足するアンテナ利得、ビーム中心から20°で25dB以上のサイドローブレベル低減を可能とする**レンズアンテナ+アレイ給電部の方式を検討**
③ 30cmφレンズアンテナを試作し、60cmφ実現に向けて課題整理
④ 捕捉追尾方式：小型高精度IMUをHAPSと地上局に用いた5GHz帯C2リンクによるGNSS・IMUベース方式の設計を実施
⑤ 携帯電話網と連携技術：5G網システムと同期したスロット配置とタイミング制御を行うアクセス制御方式を検討



周波数共用技術（課題オ）

実施概要

WRC-19会合でHAPSに分配されたQ帯（38.0-39.5GHz）以外の38GHz帯域において、他システムとの周波数共用検討を踏まえたHAPSの帯域拡張と共用条件をWRC-23において、WRC-27の議題として採用されることを目指す

① WRC-23で、次回の新議題化に必要となる周波数共用検討
② WRC-19、情通審での検討手法・結果の反映
③ 周波数共用に係る共用条件と干渉軽減技術の検討
④ 国際標準化及びHAPSアライアンス関連の検討

実施状況

① 36.0GHz～42.5GHzにおける情通審等での検討された他国内システムを調査し、WRC-19で検討された周波数共用モデル、HAPS諸元（ITU-R F.2439，F.2475）参照し、開発システムとの周波数共用検討を実施
② 国内で周波数共用する他システムとの共用要件を整理。
③ 5Gシステムとの干渉軽減方策として、5G網の時間・周波数フレーム配列の最適化技術に係る基礎検討を実施
④ **WRC-23新議題化に向け移動体上の基地局へのバックホール回線提供を想定し標準化の課題、スケジュールを整理**
⑤ HAPSアライアンス活動状況を収集し、参加方向で方針を整理

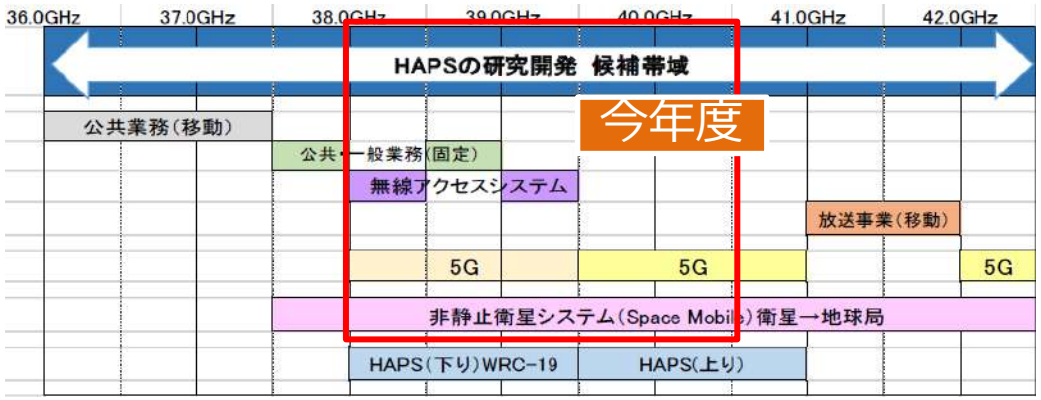


図　周波数共用検討の実施範囲

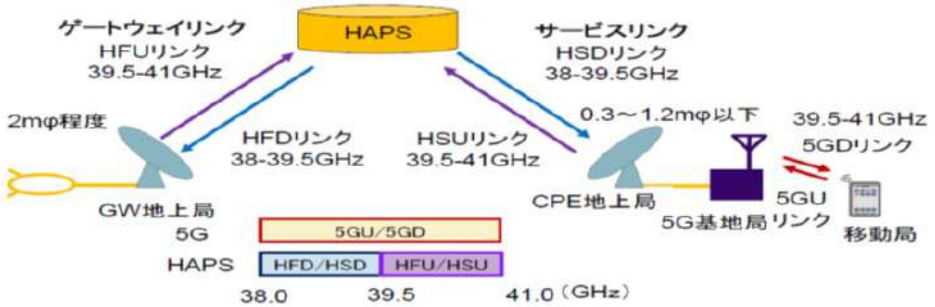


図　HAPSシステムの干渉モデルの概要図

図　標準化に向けた検討スケジュール

まとめ（HAPS実用化に向けた課題と今後）

- **研究開発への取組み**
  - 衛星通信事業者、携帯電話事業者、通信機器メーカおよび国研から構成される強力な体制の下、過去の経験と実績をベースに地上から宇宙までの3次元をカバーする5G、6Gの通信インフラの一翼を担うべく研究開発を推進し、**衛星事業、携帯電話事業とも連携してHAPSの事業化の実現を目指す。**

- **標準化への取組み**
  - 携帯電話事業者との連携を図り、**固定系/移動系で一体的に実用化、標準化を推進する。**
    - ・5G網と連携したHAPSの固定系/移動系のITU-R等での周波数間関連の標準化
    - ・NTN（衛星、HAPS）と5Gのネットワーク連携の3GPP NTN関連の標準化
    - ・HAPSアライアンスと連携したHAPS実用化の推進、ICAO等での航空関連の標準化、

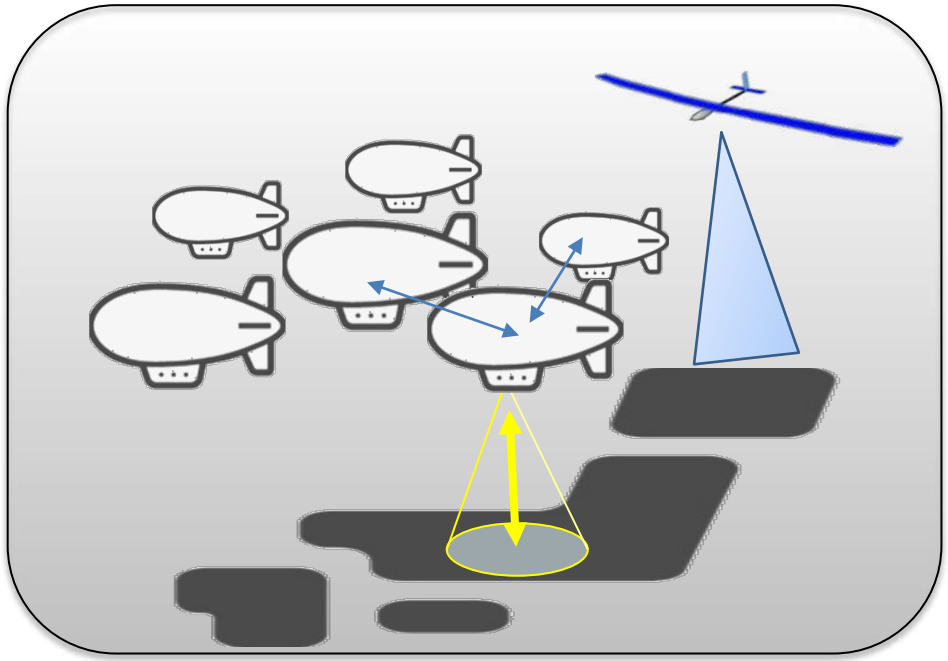
- **実用化への取組み**
  - 実証実験・デモ、標準化対応を通じた実績の下、産業界との連携やコンセンサス形成を目指す。
  - 開発が進んでいるHAPS機体を用いて、**まずは災害対応や建設現場等の一時利用ニーズ向けに2025年以降の早期サービス化を目指す。**

⇒ **NTN(Non-Terrestrial-Network)と宇宙・衛星事業を融合させ、新たな価値を創出。**

SKY Perfect JSAT Corp. proprietary information

【ご参考】HAPS事業ビジョンイメージ

HAPSの日本国における展開及びアジア・太平洋地区での展開イメージ



当初は、数機レベルの運用（2025年頃～）
➔非常災害時の利用、一時的な建築現場等利用

本格稼働時は全国カバーする規模で運用（2030年頃～）
➔5G/6G バックホール回線向け、移動する基地局等向け
災害時の利用、リモートセンシング等