



HAPS Alliance

HIGH ALTITUDE PLATFORM STATION

成層圏航空機が挑む デジタルデバイド解消

フライトテストから読み解く、
成層圏通信実現への路

はじめに

2019 年及び 2020 年、HAPS アライアンスメンバーである HAPSMobile Inc.（以下「HAPSMobile」）は成層圏通信プラットフォーム向け無人航空機「Sunglider（サングライダー）」を使って飛行試験及び通信試験を実施した。これらの試験は HAPS の有益性や将来性を理解するうえでとても参考になるものであり、そのため、この度これらの試験内容をまとめる形で白書を作成した。

白書の構成としては、第 1 章のイントロダクションで HAPS や Sunglider の概要を説明し、第 2 章と第 3 章で Sunglider の飛行試験の内容・成果の解説、第 4 章、第 5 章、及び第 6 章で Sunglider に搭載した通信機器による通信試験の内容・成果を解説している。そして第 7 章で HAPS アライアンスメンバーによる類似の取り組みについて紹介している。

2020 年には HAPS アライアンスのメンバーである Loon LLC（以下「Loon」）も自社の HAPS プロジェクトについてレポート¹を発表した。今回の白書を含め、このような各社の積極的な情報発信がアライアンスメンバーの HAPS に関する理解や関心を深めるとともに、国際機関や各国政府に対して HAPS 向け航空・通信制度の整備を後押しすることを強く祈念している。

¹ Loon LLC (2020) THE STRATOSPHERE HIGH ALTITUDE, HIGHER AMBITIONS

(<https://kstatic.googleusercontent.com/files/700fe7484ef07f5b986715faaa846f183be7e952c65e49bf75256c287cd1721451b2762b327a50f58a3b1589e37e52324767c67796a4b8d9f6139017233c4987>)

目次

第1章	イントロダクション	
第1節	HAPS について	4
第2節	ソフトバンクの HAPS プロジェクト	5
第3節	Sunglider の歴史	6
第4節	Sunglider の概要説明	8
第2章	Sunglider の飛行試験について	
第1節	低空飛行試験の実施	9
第2節	高高度飛行試験に向けた準備	9
第3節	高高度飛行試験に向けた事前試験の実施	10
第4節	高高度飛行試験の成功	10
第5節	試験結果の振り返り	11
第3章	今後の HAPS プロジェクト推進における航空制度面の課題と対策について	12
第4章	通信試験の事前準備について	
第1節	Payload 開発	13
第2節	Spaceport America におけるネットワーク構成	15
第3節	地上 Gateway の建設	15
第4節	実験免許（周波数）の獲得	16
第5章	通信試験の内容及び結果	
第1節	主な通信試験の試験内容	16
第2節	通信速度試験の結果	18
第3節	Ping 試験の結果	18
第4節	Video Call の実施	19
第5節	試験結果の振り返り	19
第6章	今後の HAPS プロジェクト推進における通信制度面の課題と対策について	20
第7章	HAPS アライアンスメンバーの類似の取り組みについて	
第1節	Raven Aerostar の取り組み	20
第2節	Airbus Zephyr の取り組み	22
第3節	Sceye の取り組み	22
第4節	Loon の取り組み	23
最終章	総括	25

第1章 イントロダクション

第1節 HAPS について

HAPS は High Altitude Platform Station の略であり、成層圏に飛行させた航空機などの無人機体を通信基地局のように運用し、広域のエリアに通信サービスを提供できるシステムを指す。成層圏は雲の遥か上に位置する大気層であるため、降雨や降雪の影響を受けず、更には気流の影響も非常に穏やかな特長を有する。そのため、他の大気層に比べてより安定的に飛行・滞空することが可能である。

HAPS は、通信、地球・大気・気候の監視、災害対応、マッピング、人道的任務、捜索救助、インフラ検査など、様々なサービスを提供できるプラットフォームである。また、HAPS は任意の座標で滞空するとともに、調査ミッション等のために広い地域を自由に移動することができる。

通信分野において HAPS は静止衛星、低軌道衛星とともに Non-Terrestrial Network に分類されている。この新しいネットワークシステムは従来の地上基地局に比べて効率的に広域をカバーできる、地震や津波など災害の被害を受けにくいといった利点を有している。

Non-Terrestrial Network のイメージ図



提供：HAPSMobile Inc.

HAPS は、2つのカテゴリに分類できる。空気より軽い Lighter-than-Air プラットフォーム（以下「LTA」）は浮力を使用して飛行を維持し、空気より重いプラットフォーム Heavier-than-Air プラットフォーム（以下「HTA」）（固定翼航空機など）は空力揚力を使用して空中を飛行する。

HTA は飛行・滞空における操作性の高さが強みであり、特に小型・中型タイプは運航の容易さから開発を進める企業が数多く存在する。一方、大型タイプは高い安全性が求められ、開発の難易度が高まるものの、小型・中型タイプに比べて目的地への迅速な飛行や機体に搭載する通信機器やセンサーへの潤沢な電力提供が可能となる（理由：翼に貼り付けられたソーラーパネルの面積が相対的に大きく発電量が多いため）。

LTA は空気よりも軽いプラットフォームである。浮力はプラットフォームの大きさの 3 乗に比例するため、LTH はその浮力を利用して非常に重いペイロードを運ぶことができる。また、飛行高度を維持するにあたり大きなエネルギーを必要としない。多くの LTA プラットフォームは風で駆動されるが、プラットフォームに設置されている小型プロペラ等を使い、飛行方向をある程度調整することが可能である。

HAPS の発展は電池とソーラーパネルの性能向上に支えられていると言っても過言ではない。近年、電池容量とソーラーパネルの発電効率の大幅な向上が、機体を成層圏まで上昇させて成層圏で長期間飛行することを可能にした。今後も電池とソーラーパネルの発電効率は向上していく見込みであり、そのため HAPS もますます発展していき、人類にとって必要不可欠なインフラになることが保証されていると言える。

第2節 ソフトバンクの HAPS プロジェクト

ソフトバンク株式会社（以下「ソフトバンク」）は「情報革命で人々を幸せに」という経営理念の下、最先端のテクノロジーを活用して、世界の情報格差を解消することを目指している。そして、この情報革命を実現するためには IoT、ビッグデータ、AI が重要な要素になると考えている。

IoT、ビッグデータ、AI を発展させるためには前提条件として通信のコネクティビティを大きく改善する必要がある。更には、今後、「空飛ぶ車」と呼ばれる electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) やドローンが実用化されるに従い、地上の基地局よりも効率的に上空へ電波を発出することができる Non-Terrestrial Network の整備が必要になってくるだろう。これらの観点からソフトバンクは HAPS を推進している。

現在、世界では約 37 億人の人々がインターネットへ接続できずに生活していると言われており²、ソフトバンクは HAPS を通じてこのようなデジタルデバイドを解消するとともに情報革命を全世界へ広めていくことを目指している。

ソフトバンクは 2017 年に HAPS 分野におけるパイオニア的な存在である米 AeroVironment Inc.（以下「AeroVironment」）と共に HAPSMobile を設立した。現在、HAPSMobile では大型固定翼タイプの HAPS である Sunlider の開発及び実用化を進めている。

ソフトバンクの HAPS 計画は 2027 年に機体を量産して商用化を加速していくことを目指して、成層圏で HAPS から過疎地域を含む広域エリアへ通信ネットワークサービスをグローバルに展開しようというものである。人類最後のフロンティアである成層圏から太陽エネルギーだけを用いて通信ネットワークサービスを行おうとする計画は、国連が提唱する Sustainable Development Goals (SDGs) にも合致する、極めて野心的な取り組みと言える。

² 出典：Statista: Number of internet users worldwide from 2005 to 2018

Sunlider

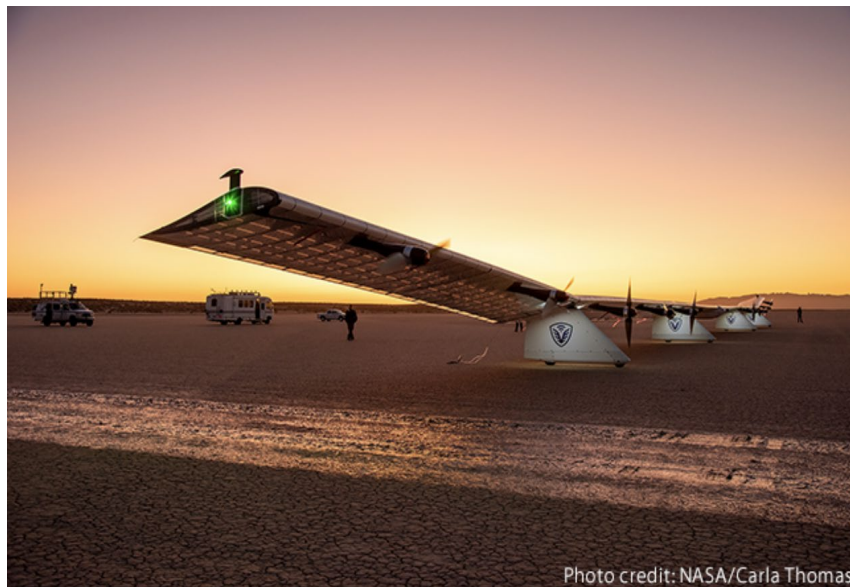


Photo credit: NASA/Carla Thomas

提供：HAPSMobile Inc.

第3節 Sunlider の歴史

HAPSMobile が開発を進めている Sunlider の歴史は 1970 年代にまでさかのぼる。人力航空機のパイオニアで 1971 年に AeroVironment を創業した Paul MacCready 氏は機体の軽量化を徹底的に追及するとともに翼長を長くすることで高効率フライトを可能にする人力航空機の開発を目指した。

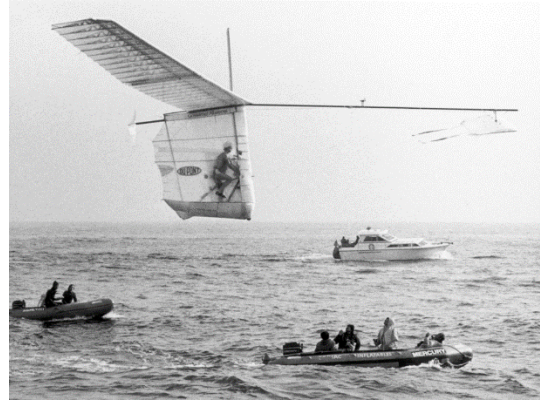
Paul 氏は飛行を制御および維持できる最初的人力航空機「Gossamer Condor」の開発に成功し、本機体は 1977 年に 8 の字飛行を成功させ、同年、革新的な人力航空機に贈られるクレマー賞を受賞した。追って 1979 年、Paul 氏が開発した「Gossamer Albatross」は人力での英仏海峡の横断に成功した。この Gossamer Albatross をもって機体の基本構造が確立された。

さらにこの Gossamer Albatross がソーラー飛行機として「Gossamer Penguin」へと生まれ変わり、やがて 1981 年に英仏海峡を越えた本格的な「Solar Challenger」へ引き継がれた。そしてこの基本技術が尾翼のない Flying Wing として「Pathfinder」と「Helios」という HAPS シリーズへと受け継がれ、最終的に Sunlider の開発につながっていった。

Gossamer Condor



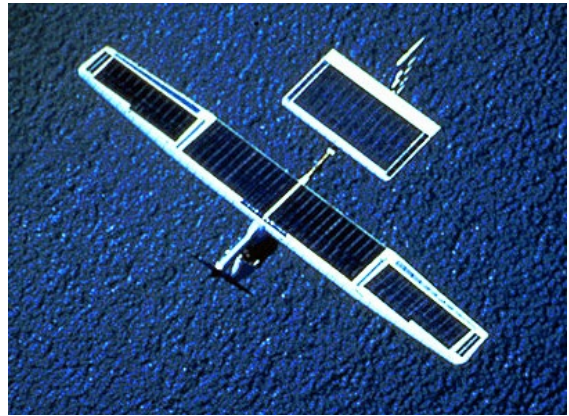
Gossamer Albatross



Gossamer Penguin



Solar Challenger



Pathfinder



Helios



提供：Aero Vironment Inc./Mr. Don Monroe

第4節 Sunlider の概要説明

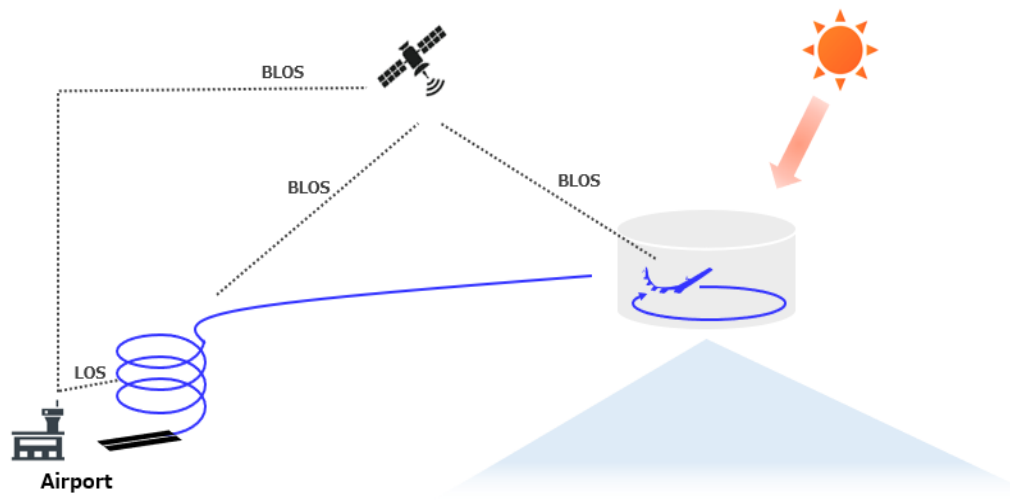
HAPSMobile が開発した Sunlider は世界最大級の無人航空機型 HAPS である。大きな特徴としては Pathfinder や Helios と同様に尾翼がないため、翼端の誘導抵抗が最小化されて、効率的な飛行が可能となっている。

また、機体については、徹底した軽量化が図られているため大型機でありながら長期間の飛行が可能となっている。

Sunlider の将来的な運航イメージは以下の図の通りである。空港から離陸する際、地上のオペレーターが目視操作のもと機体を旋回させながら徐々に成層圏まで上昇させる。一旦、成層圏まで上昇したら、衛星経由での遠隔監視に切り替える。機体が目的地に到達後は旋回しながら定点滞空するとともに、地上に対して通信ネットワークの提供を開始することになる。

Sunlider の動力は太陽エネルギーであり、日中は翼の上面に貼られたソーラーパネルで発電し、そのエネルギーでプロペラを回し、機体に搭載している通信機へ電力を提供するとともに余ったエネルギーを機体に搭載されている電池へ蓄電する。なお、成層圏は雲の上に位置するため日中は安定的に発電することができる。一方、夜間は日中に蓄電したエネルギーを放電することでプロペラを回し続ける。このメカニズムにより将来的には成層圏での約半年間の連続飛行を実現する予定である。

Sunlider の運航イメージ



提供：HAPSMobile Inc.

第2章 Sunlider の飛行試験について

第1節 低空飛行試験の実施

HAPSMobile は NASA（National Aeronautics and Space Administration、アメリカ航空宇宙局）の厳しい耐空性能評価を無事にクリアし、米国カリフォルニア州にある アームストロング飛行研究センター（Armstrong Flight Research Center、以下「AFRC」）にて 2019 年 9 月 11 日に低空飛行試験を実施した。

低空飛行試験は全て計算通りの動きとなり、また、離陸と着陸ともに非常に安定しており、Sunlider が航空機として問題なく飛行できることを証明した。その後も低空飛行試験を実施し、飛行データから各種チューニングを行い、さらに安定した飛行を実現することができた。



提供：HAPSMobile Inc.

第2節 高高度飛行試験に向けた準備

低空飛行試験で基本的な安全性を検証することができたため、HAPSMobile は次のステップとして高高度飛行試験を実施することとした。高高度飛行試験の実施場所として、米国ニューメキシコ州にある Spaceport America（以下「SpA」）を選定し、機体搬入前に専用の空港施設の準備を行った。成層圏飛行は長時間のミッションが予想されるためクルー用の各種設備も用意し万全の体制をとった。

特にクルーの訓練は重要であり、全ミッションに対して詳細な手順書を作成し、フライトシミュレーターも活用して繰り返しクルーの訓練を実施した。またミッション中の不測の事態に備え、各種緊急手順を定めて訓練を繰り返し、緊急時の不時着場も設定することで、あらゆる不具合に対して速やかに対処できるよう準備した。

飛行前には飛行場周辺の低層・高層気象を気象バルーンや各種気象観測装置を用いて事前に把握し、特に当該地域特有の気象状況の把握に努めた。一例として、成層圏飛行に当たり、ジェット気流の強さや高層での極低温域の把握・予想を行った。

また、COVID-19 の影響拡大をうけクルーの安全確保のために Ground Control Station 内のソーシャルディスタンスを確保するべく、トレーラーを一台追加で用意してシステムの分散配置を行った。



提供：HAPSMobile Inc.

第3節 高高度飛行試験に向けた事前試験の実施

2020年5月、HAPSMobileは機体をSpAへ搬入して組み立てた。その後、機体を機能テスト、Apronテスト、Runwayテスト等を含む全ての地上テストをクリアさせて、最後にAirworthiness Review Board（以下、「ARB」）による耐空性能評価もクリアさせた。

その後、高高度飛行を実施する前に、再度、低空飛行試験を2020年7月23日に実施した。本低空飛行試験では前回の試験内容に加えて成層圏飛行を想定した飛行基本性能と機能の確認、そして、データ取得を実施した。その結果、低空飛行試験は成功裏に終了し、Sunliderが問題なく成層圏飛行にチャレンジできる機体であることを確認することができた。



提供：HAPSMobile Inc.

第4節 高高度飛行試験の成功

2020年9月中旬、HAPSMobileは地上付近の天候や上空のジェット気流・大気状況の予測から9月21日を成層圏飛行日に決定し、この日に向けて機体調整やクルーの準備を開始した。

9月21日当日は事前の予想通り気象上飛行に問題なかったため、HAPSMobileは成層圏飛行の実施を判断。帰路は翌日になることが予想されたため、定期的に気象バルーンを飛

ばして絶えず気象上の安全性把握に努めた。AM5:16 に離陸し、その後は計画された飛行試験を実施し一定高度毎にシステムチェックを行いながら上昇。同日 PM1:57 に対流圏界面を突破し成層圏に突入した。さらに上昇を続け最大高度 62,500 フィート（約 19km）を達成した。また、成層圏内では一定パターンの飛行を行うことで世界初となる LTE 通話試験に成功することができた。高高度飛行試験においても急旋回、速度変更、自動運航などを含む約 200 項目のミッションを完了し、PM7:35 に成層圏を離脱、着陸の準備を開始した。途中 58 ノット（秒速 30m）のジェット気流やマイナス 73℃の極低温域に遭遇したが、飛行予定空域内を維持し安全に飛行することができた。

9 月 22 日 AM1:32、無事に着陸。 総フライト時間は 20 時間 16 分、成層圏滞在時間は 5 時間 38 分であった。

*日時は米国山岳部時間



提供：HAPSMobile Inc.

第 5 節 試験結果の振り返り

今回の飛行試験を通じて、機体は堅固で冗長性に優れた構造であり、不測の事態にも十分対応できることが確認できた。

また、成層圏飛行に際しては、上昇・下降中に極低温域の通過が不可欠となり、今回の飛行試験でもマイナス 73℃という極低温域に遭遇したが、機体各装置は適切な低温対策を施すことで飛行への影響はなくミッションを遂行できた。また、ジェット気流等の強風の影響により機体が流される懸念もあったが、Sunglider の優れた飛行性能と運航クルー及びコンピューティングによる適切な対応により設定エリアを維持したミッションを行うことができ、更には、LTE 通信試験も、当初予定していた飛行経路を完全に維持することで成功に導くことができた。

このように成層圏飛行は成功をおさめ、大きな成果を得ることができた。一方、2020 年は COVID-19 が蔓延したため、感染防止のため準備に通常より多くの時間を要することになった。特に航空機の整備や運航は人が密集する場合が多くなるため感染防止対策を入念

に行う必要があった。しかしながら、適切な感染対策を行うことで一人の感染者も出さず全てのミッションを遂行することができ、この点も大きな成果として挙げられる。今後、Sunglider の商用化を進める際に、今回の感染防止対策は非常事態でも適切に機能する運航体制を構築する際に非常に参考になるであろう。

今後はさらに Sunglider の機体コンセプトを追求するとともに、ソーラーパネル、バッテリーシステムなど HAPS に必要となる技術発展への寄与も目指して、成層圏における超長期間フライトを実証したい。

第3章 今後の HAPS プロジェクト推進における航空制度面の課題と対策について

HAPS のテスト飛行を実施する際には飛行許可を取得できているものの、現在、成層圏で HAPS を運航するにあたり、確立された国際的飛行ルートは存在しない。今後、HAPS の商用利用を実現するためには、HAPS の運用に適した規制の枠組みを整備することが必要不可欠である。そのために、HAPS アライアンスとその各メンバーは、世界中の規制当局および国際民間航空機関（ICAO）と提携して、HAPS 運用に関する以下の規制について働きかけを実施している。

- ・高高度空域飛行のための国際的に一貫した協調的運航管理コンセプト
- ・HAPS の飛行ルートを承認するにあたっての飛行リスク及び飛行パフォーマンスに基づく安全基準
- ・複数の機体運航に対する飛行ルートの許可

また、成層圏で HAPS を安全に飛行させるにあたり対流圏や成層圏気象の分析、解明も必要だと言える。今回の高高度飛行試験においても、実際にはほぼ事前の推測値通りであったものの、帰路の大気状況把握のため、飛行中も定期的に気象バルーンを打ち上げる必要があった。現在の定期気象バルーンでは立地的な間隔が広く、世界的にデータが不足しており、気象観測体制の整備並びに気象情報の共有については HAPS を目指す業界全体の課題であると認識している。

この課題に対しては、今後、HAPS アライアンスを通して成層圏気象の分析、解明を行うとともに、各国の気象当局との連携も含めて、対流圏や成層圏の気象情報のグローバルなプラットフォームの構築を目指していくべきだと思われる。

第4章 通信試験の事前準備について

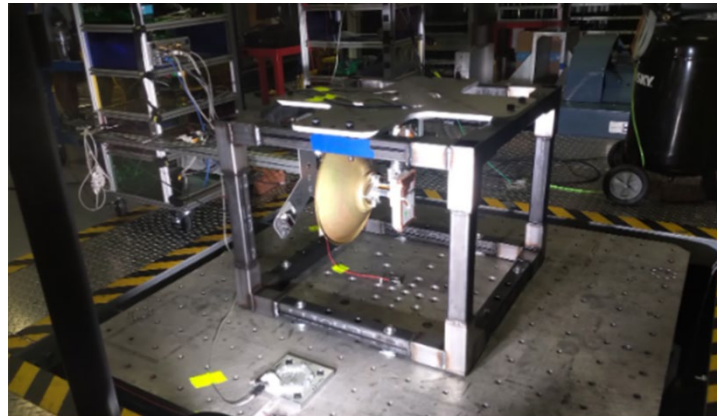
第1節 Payload 開発

Payload とは、無人航空機に搭載する通信機器、カメラ、測定器等の総称を意味し、特にこの節では携帯電話基地局用の通信機器を意味する。

Payload 開発は地上から対流圏、サービスを行う成層圏までとあらゆる環境下で動作する事を想定して開発を行わなければならない、特に気温や気圧の大幅な変化に耐える必要がある。また、Payload は太陽エネルギーで動作する軽量な無人航空機に搭載するため消費電力や重量を限界まで下げる必要があり、軽量な無人航空機特有の振動にも耐え、安定的な回線を提供しなければならない。

この様にさまざまな環境下で動作する商用 Payload を開発するためのデータを取得するために、初めに HAPSMobile はプロトタイプの Payload を使って地上でさまざまな試験を実施した。（以下の画像は地上試験の一例）

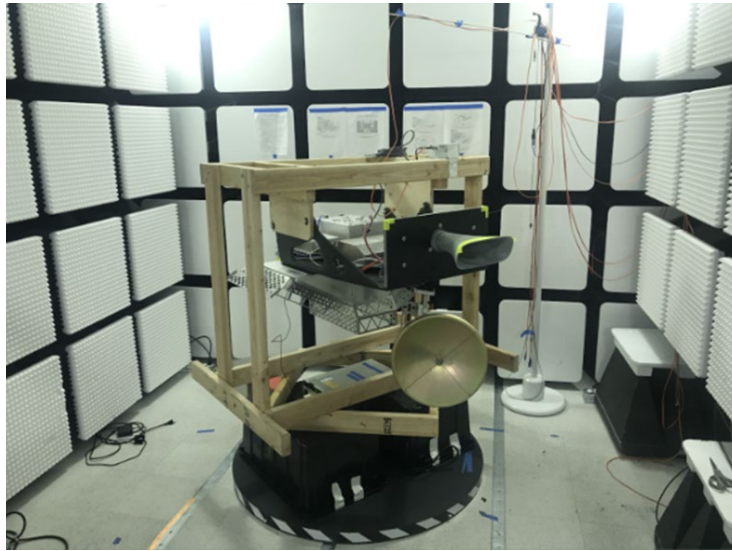
振動試験（追従試験）



排熱試験（冷却試験）



EMI・EMC 試験



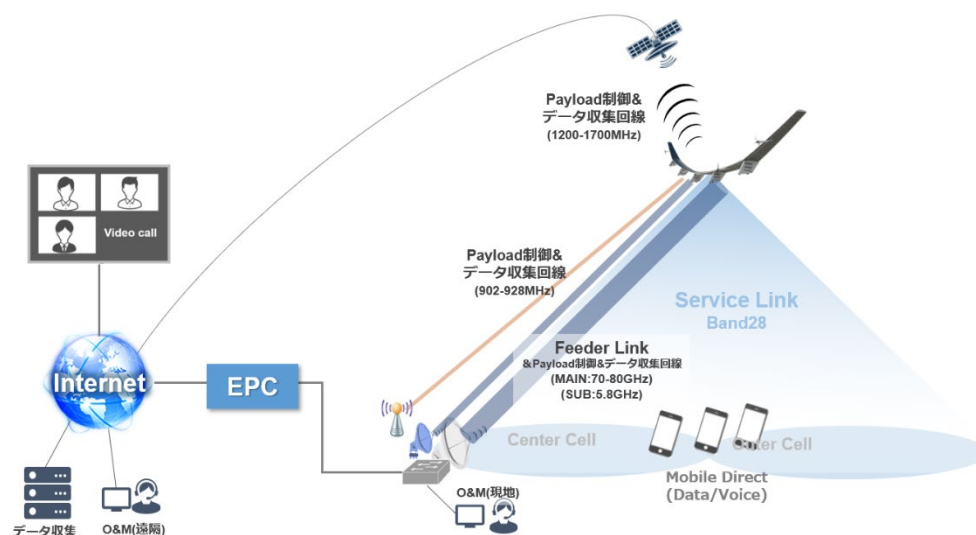
搭載試験



提供：Loon LLC/HAPSMobile Inc.

第2節 Spaceport America におけるネットワーク構成

SpA でのフライト試験において、HAPSMobile は、地上のスマートフォンが電波を受信するために、Payload から Service Link (LTE) の電波を発射し、そのスマートフォンからのデータを地上のインターネット回線に届けるための Feeder Link を Main/Sub で冗長化するために2回線用意した。また、Payload の制御と取得したデータを収集するための専用回線も2回線用意した。



提供：HAPSMobile Inc.

第3節 地上 Gateway の建設

地上 Gateway は地上と HAPS 間の回線を繋ぐ Hub の役割を担っている。SpA でのフライト試験では以下の図の通り簡易的にコンテナを用意し、このコンテナ上部に Feeder Link のアンテナを設置して通信を実施した。



提供：HAPSMobile Inc.

第4節 実験免許（周波数）の獲得

ニューメキシコ州の SpA でのフライトで Payload の通信試験を実施するために、HAPSMobile は米国政府（FCC）から Service Link の実験免許を獲得した。また、SpA に隣接している White Sands Missile Range（以下「WSMR」）は米軍施設であるため、使用する周波数の全てを WSMR へ報告し事前に許可を得た。なお、各周波数帯の使用状況は以下の通り。

・ Service Link（Band28（700MHz 帯））

現在 Band28 を使用している MNO や帯域の空き状況を事前に調査して、FCC からの許可前に MNO からの事前承諾を得て帯域幅を選定した。

FCC からの許可を得るためには、MNO からの承諾と周波数干渉の影響、さらには無線機そのものの仕様について説明し許可を得る必要があった。

SpA はメキシコ合衆国から直線距離で 200km 位に位置しており、FCC はメキシコ合衆国への干渉を懸念していたものの技術的観点から問題ない事を説明し、交渉の結果、獲得に至った。

・ Feeder Link（70-80GHz 帯）

Loon が FCC から既に許可を得ていたのでそれを活用した。

・ Feeder Link（5.8GHz 帯）

ライセンスフリーの WiFi 周波数を利用した。

・ Payload 制御&データ収集回線（902-928MHz）

ISM バンドを利用した。

・ Payload 制御&データ収集回線（1200-1700MHz）

イリジウムを利用した。

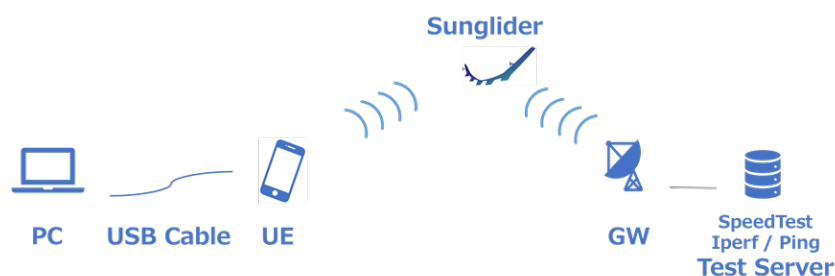
第5章 通信試験の内容及び結果

第1節 主な通信試験の試験内容

HAPSMobile は SpA における機体の飛行試験に併せて多種多様な通信試験を実施した。本白書ではそれらの通信試験の中から、通信速度試験、Ping 試験及び Video Call について紹介したい。なお、通信速度試験では推定していた受信電力と実測の差分からフェージング影響の有無を確認するとともに、HAPS 環境での MIMO 有効性を確認した。Ping 試験では発信元のホストから宛先のコンピュータにメッセージを送信し、宛先からホストに

応答が戻って来るまでの往復時間（ラウンドトリップタイム（以下「RTT」））と商用における遅延量を推定した。

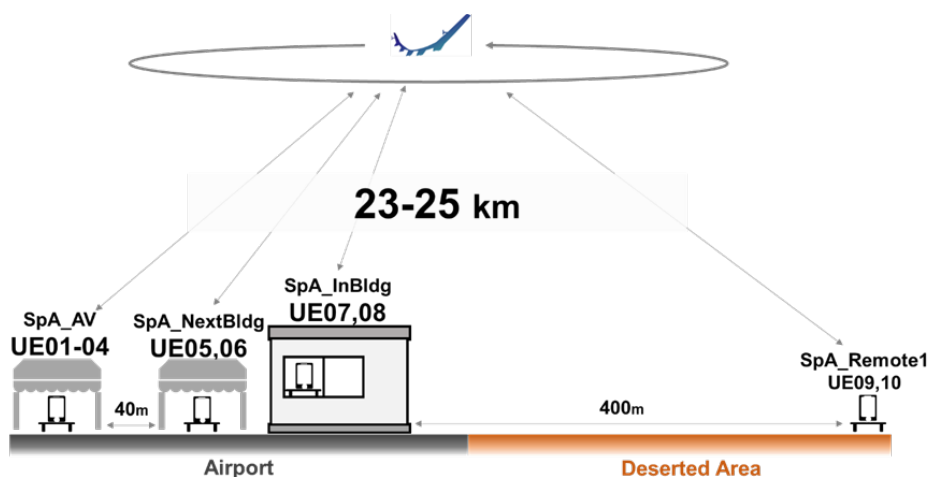
通信速度試験と Ping 試験における試験環境は下図の通り。User Equipment（以下「UE」）は USB での有線接続された PC により制御し、インターネット上の Test Server に対して Iperf による通信速度試験と Ping 試験を実施した。



提供：HAPSMobile Inc.

通信試験中の各 UE と Sunlider の距離については下図の通り。

COVID-19 の影響等もあり、比較的範囲を狭めて通信試験を実施した。通信試験は各 UE を複数回異なるタイミングで測定を実施しているが、成層圏到達後（高度約 19km）の Sunlider は SpA の上空を円旋回している。そのため同一の UE であっても、測定するタイミングによっては Sunlider との距離が変わっていることもあるが、UE と Sunlider の直線距離は概ね 23km から 25km の範囲に収めた。



提供：HAPSMobile Inc.

UE の情報について下表の通り。

配置については、開空間に置かれた SpA_AV と SpA_Remote1 があり、建物に隣接した

場所に置かれている SpA_NextBldg、建物内にある SpA_InBldg の 4 箇所がある。1 台の UE が測定している時、他の UE は HAPS 基地局から切断した状態としている。

Item	Value
UE Model number	Pixel 3aXL(G020B)
Number of UEs	10
Test Location (Position Name : UE number)	SpA_AV : UE1～UE4 (Outdoor) SpA_NextBldg : UE5, UE6 (Outdoor NB) SpA_InBldg : UE7,UE8 (Indoor) SpA_Remote1 : UE9, UE10 (Outdoor)
Test Application	Speed Test1 : Iperf + QXDM(Logging) Video call : zoom

第 2 節 通信速度試験の結果

HAPSMobile は UE を一台ずつ接続して試験を行い、切断処理をしてまた別の UE の試験を行う、という手順で試験を行った。

試験の結果、すべての屋内用を含む UE への接続が確認された。

また、HAPS では基地局が移動するためにフェージングにより受信電力が変動するのではないかという事前の予測があったが、試験によって得られた DL RSRP の時間変動を解析した結果、フェージングによる影響は無いことがわかった。

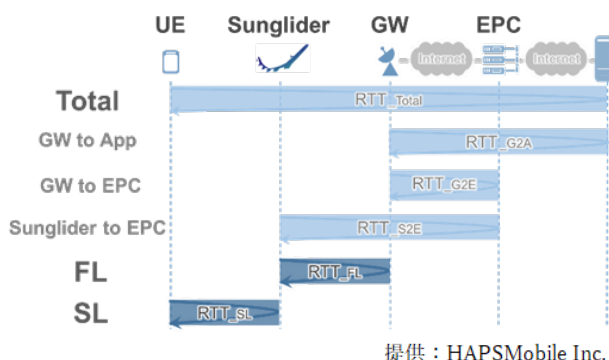
通信速度の解析では、試験中に MIMO が可能か否かを UE が通知する Rank Indicator の値が、可能を示す 2 の値を維持しているケースが多数存在した。HAPS 環境では開空間であるため MIMO にならないのではないかという事前の予測があったが、今回の測定結果から、MIMO が有効に機能していることがわかった。

第 3 節 Ping 試験の結果

右の図は Ping 試験を行った際、どのノードからどのノードへの検証を行ったかの図である。UE から Test Server までの Ping 試験だけではなく、Gateway から Test Server、Gateway から Evolved Packet Core（以下「EPC」）、Sunglider から EPC までの検証を行っている。これらの数値を

用いることで、Feeder Link(FL)の RTT、Service Link の RTT を導出することが出来る。

Feeder Link の RTT については非常に小さな値となった。仮に今回の SpA での検証よりも伝搬距離が長くなった場合でも、十分に 1ms を下回る RTT 値を達成することが出来る。

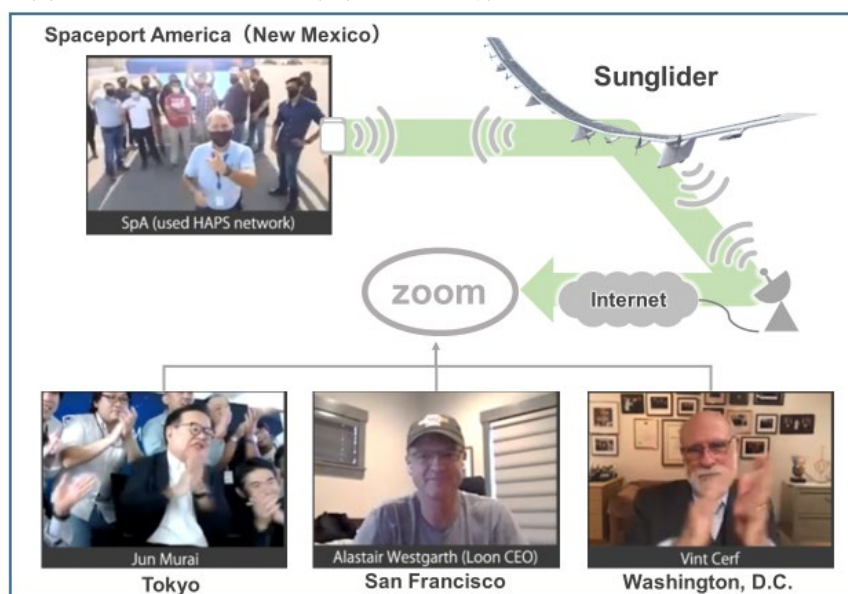


一方 Service Link については、LTE のプロトコルを使っていることもあり、Scheduling Request の送信周期や Grant 割当の影響で遅延量が大きくなった。今後の HAPS でのユースペースを拡張していくためには、遅延の低減は必要不可欠な課題であり、HAPSMobile としては、この Service Link の遅延低減のソリューションとして 5G の活用も視野に入れている。

第4節 Video Call の実施

成層圏対応無線機を通してインターネットに接続されたスマートフォンを持つ、SpA にいる Loon や AeroVironment のメンバーと、日本にいる HAPSMobile のメンバーが、Zoom を通じてビデオ通話をすることに成功した。

このビデオ通話では、Google LLC のバイスプレジデント、Internet Evangelist であり、「インターネットの父」と呼ばれる Vint Cerf 氏と、慶応義塾大学環境情報学部教授で、HAPSMobile の社外取締役でもある、「日本のインターネットの父」と呼ばれる村井純氏が、HAPS の意義やインターネットの未来について語った。



提供：HAPSMobile Inc.

第5節 試験結果の振り返り

今回の通信試験を通じて、成層圏から地上への通信を適切に実施できることを Video Call 等を通じて確認することができた。これは将来、Sunglider による高品位なモバイル通信サービスが提供できることを証明したと言え、この点は非常に大きな成果と判断する。

今後は、高高度からの通信サービスの達成をより確実なものにするため、通信装置の軽量化を進めるとともに、成層圏における超長期間フライトを実証したい。

第6章 今後の HAPS プロジェクト推進における通信制度面の課題と対策について

事前準備の項でも触れていたが、隣接する国への干渉調整が大きな課題になる。HAPS は成層圏から広域なカバレッジを形成するため、国境近くでは隣接する国に対する電波干渉のケアが必要になる。このような調整に時間が掛かることで、HAPS 運用の開始タイミングが遅れるなどのデメリットが生じ、また仮に運用中に干渉が発生した場合の対応も、その都度の取り決めに応じた形となり、運用コストの増大につながっていく。

世界各地で HAPS による通信試験や通信サービスを円滑に実施するためには、隣国との干渉調整をスムーズに行うためのルール整備が必要となる。

そのため、今後は HAPS アライアンスと各国の関係当局間で関係構築や意見交換を積極的に行い、官民が一体となって各国における干渉調整のルール整備を目指していくべきだと思われる。

このようなルール整備が進めば、HAPS の運用に関する障壁を事前に下げることができ、迅速なサービス展開や干渉発生時の情報共有が行いやすくなるだろう。

また、高高度において通信を実施する際、通信装置の軽量化や機体が動くことによる通信品質の変動への対応が必要になるが、これらの対応策について HAPSMobile 独自に調査を進めていく予定である。

第7章 HAPS アライアンスメンバーの類似の取り組みについて

第1節 Raven Aerostar の取り組み

Raven Aerostar は 65 年間、成層圏で気球の飛行を実施している。2013 年以降は、持続性のある通信プラットフォームの開発及び運用を念頭に成層圏で 5 万日間近い飛行を行った。

Aerostar の Thunderhead Balloon Systems®は高い気球製造能力と経験豊富な運航オペレーターによって技術的な成熟度を高めてきた。2021 年夏の終わりに、Aerostar はマルチスペクトルの機器を搭載した気球を米国西部で 2 カ月間飛行させて、消防活動に対する気球の有効性を検証した。

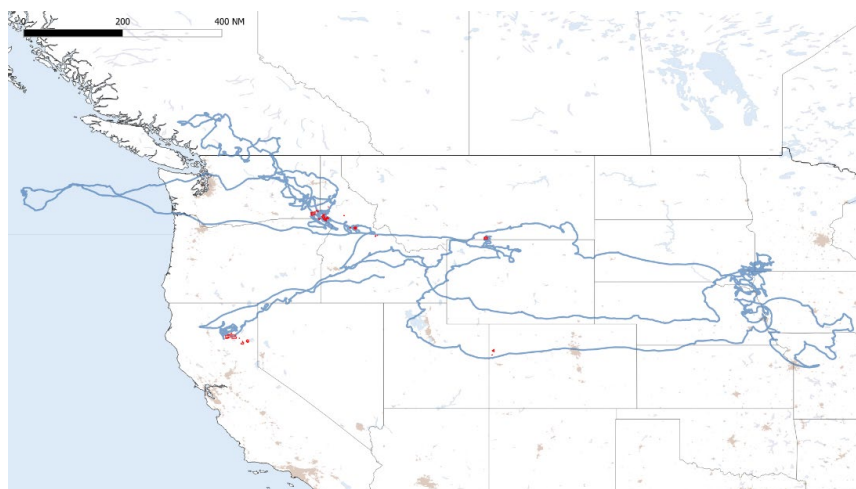
図 1：Thunderhead Balloon Systems®は様々な条件下においても少人数で打ち上げられるよう設計されている。この図で示されている気球は、サウスダコタ州の Aerostar のフライトオペレーションセンターからオクラホマ州東部とテキサス州西部まで飛行し、途中、指定した地点で滞空飛行を実施した。



提供：Raven Aerostar

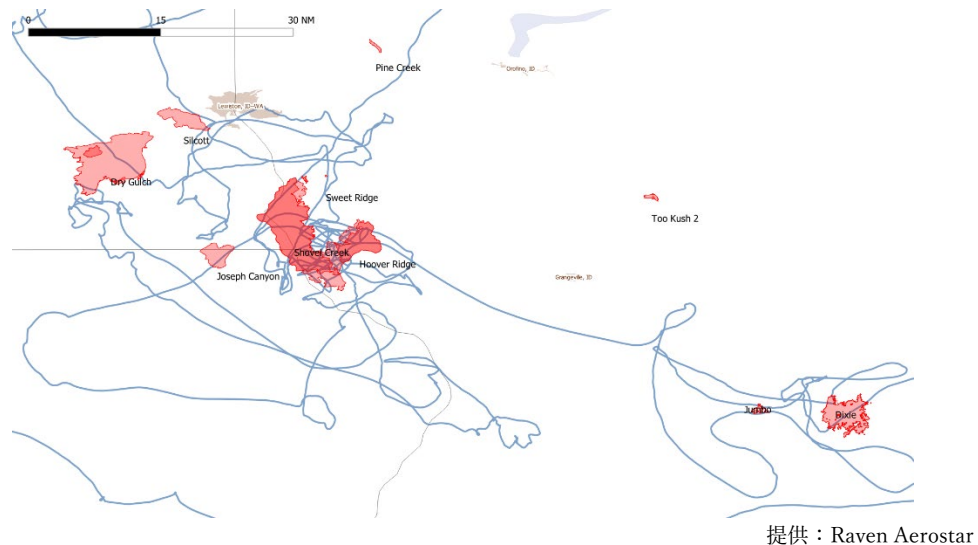
図 2：この経路は Aerostar の Thunderhead Balloon System®が米国西部の山火事の上空を 2 か月間飛行した際の飛行経路を示しており、本ミッションは消防活動を支援する成層圏気球の有効性を実証した。

気球の耐空飛行機能の操作はほぼ Aerostar 独自のアルゴリズムによって実施されており、このアルゴリズムによって、気象データと気球の動作性能を踏まえて、気球の最適な飛行ルートを導き出すことが可能となっている。また、自動飛行機能及び滞空飛行機能によって、継続的なカバレッジを提供する任務においても、オペレーターが手動で気球を操作する必要がほとんどない。



提供：Raven Aerostar

図 3： スネーク・クリーク・コンプレックスにおける火災エリアのクローズアップ



第2節 Airbus Zephyr の取り組み

現在の Zephyr は第 8 世代であり、継続的に開発されて進化を遂げている。Zephyr はバッテリーによりプロペラを旋回させ、太陽光パネルでバッテリーの充電を日中帯に実施している。

世界規模の通信カバレッジと最大 1 年間の飛行を目指した極めて高い耐久性を実現するために、Zephyr は超軽量の機体と、Sat-Com データリンクを利用した BVLOS コマンドアンドコントロールを活用している。

Zephyr は世界記録である連続飛行日数 26 日間を達成し、極めて高い耐久性を実現した。更に、夜明け時点で高度 FL600（約 18km）を維持するとともに、世界記録である高度 FL760（約 23km）を達成済である。

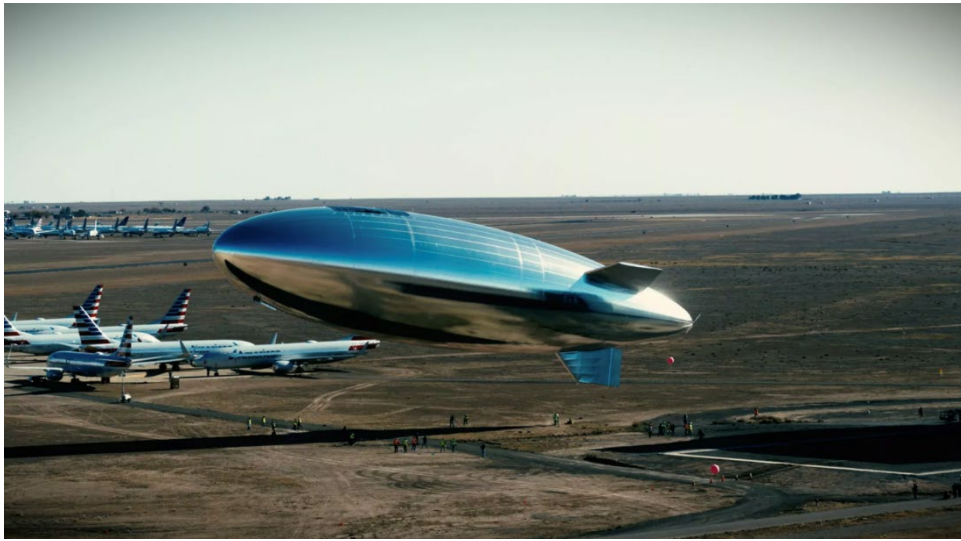
第3節 Sceye の取り組み

Sceye は、風で駆動する Lighter-than-Air の HAPS プラットフォームを使用して、成層圏からの通信接続、地球観測、および人道的サービスの提供を実施している。特に、Sceye は最近、米国環境保護庁（EPA）とパートナーシップを締結し、汚染源および汚染源の気候と大気への影響を調査した。

Sceye のプラットフォームは、150kg を超えるペイロードを成層圏に運ぶことができる。また、飛行を調整するための補助インパルス装置が装着されているプラットフォームは秒速 10～15 メートルの真対気速度で飛行することが可能である。

最近の通信接続テストで、Sceye は最大 120km の水平距離で LTE デバイスに接続できることを実証し、HAPS が地上向けの通信インフラとして利用できる大きな可能性を実証した。

図 1：テスト時における Sceye プラットフォームの離陸状況

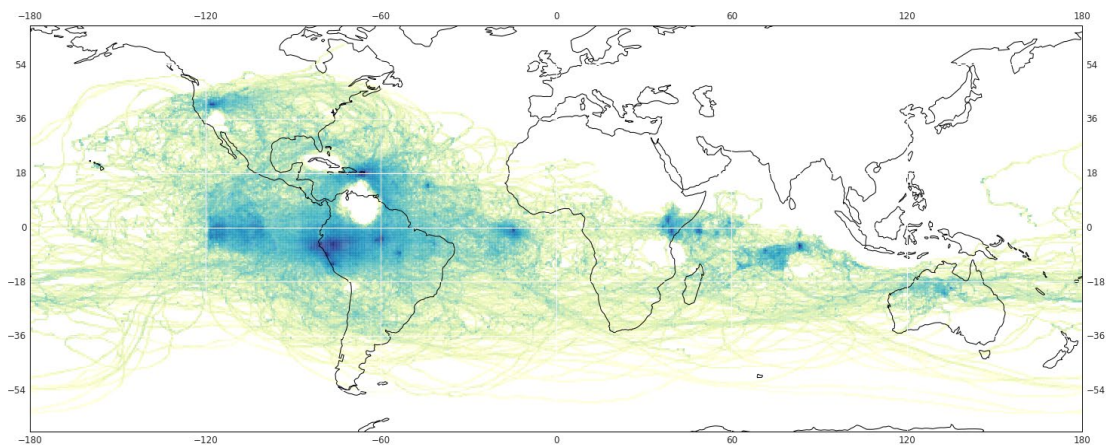


提供：Sceye

第 4 節 Loon の取り組み

Loon は、Lighter-than-Air の HAPS で、一部には補助インパルス装置が装備されている。Loon はケニア、ペルー、プエルトリコの数十万人のユーザーに通信ネットワークを提供し、総飛行時間は 190 万時間（323 日）以上、飛行距離は 7000 万キロメートル以上にも達する。10 年にも及ぶ Loon の事業は終了したものの、これまでの成果と技術の進歩の詳細については、<https://x.company/projects/loon/the-loon-collection/> をご覧いただきたい。

図 1：Loon の飛行経路履歴 (2018 年 – 2020 年)



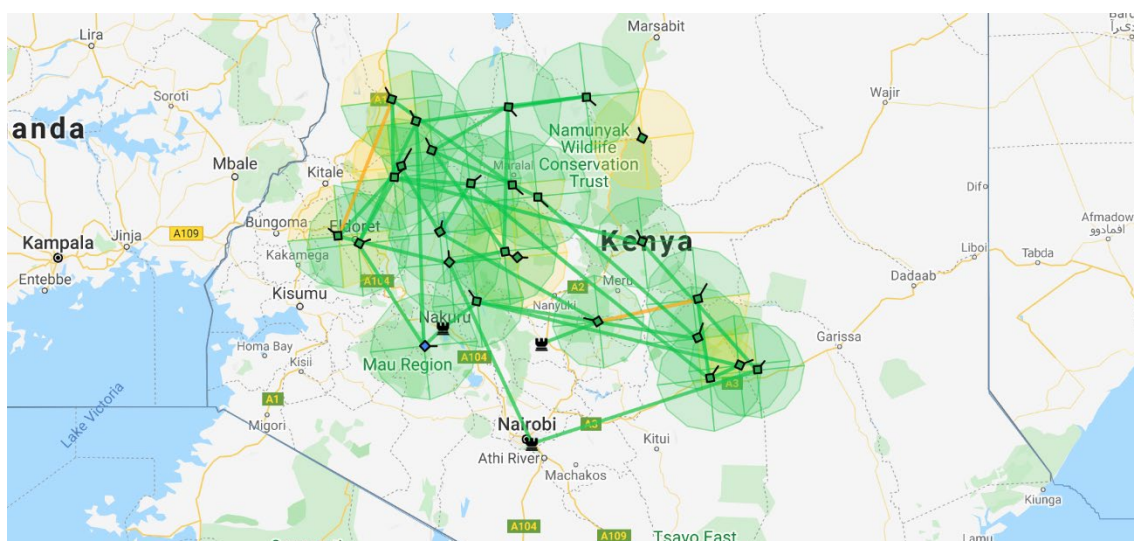
提供：Loon

図 2：ペルー、ボリビア、ブラジル、エクアドルにおけるメッシュ・ネットワーク



提供：Loon

図 3：ケニア上空で通信を提供している 25 体の Loon のメッシュ・ネットワーク



提供：Loon

最終章 総括

本 White Paper では 2019 年から 2020 年にかけて HAPSMobile が米国で実施した HAPS の飛行・通信試験について説明した。今回の試験は主に成層圏における Sunlider の安定的な飛行及び、成層圏で定点滞空する Sunlider から地上への適切な通信の実施を目標としており、今回、これらの目標は無事クリアすることができた。一方、成層圏で Sunlider を長期間フライトさせることによる機体及びそれに搭載する通信装置の耐久性等の検証に関してはこれから継続的に試験を実施して確認していく方針である。

HAPS の開発と商業化のためには、国際的に認識された航空制度上の認可までの道筋が必要である。HAPS アライアンスとそのメンバーは国際的な規制当局と提携しており、その結果、アメリカ連邦航空局（FAA）から初版の運用コンセプトが発行されることとなった。

また、今後、HAPS を使った飛行・通信試験を円滑に実施するためには、各種の HAPS 機体における試験飛行許可の審査基準及び通信電波における隣接する国への干渉調整スキームについて各国共通の制度が整備されるとともに、対流圏や成層圏の気象情報のグローバルなプラットフォームが構築されることが望まれる。

第 7 章では HAPS アライアンスのメンバーによる類似の取り組み事例について紹介した。第 7 章が示す通り、HAPSMobile 以外にも HAPS に関する飛行・通信試験等を実施する企業が数多く存在しており、このことから、HAPS の実用化に向けて業界ニーズが非常に高まっていることがわかる。HAPS のエコシステムを構築するには世界中で業界と政府や規制当局が連携していくことが必要である。

そのためには、まさに HAPS アライアンスが各社間の連携を進めるにあたり、プラットフォームとして機能し、国際機関や各国政府と連携するうえでの業界窓口となることが HAPS 実現化のためには必要不可欠だと言える。

HAPSMobile としても HAPS アライアンスが適切に機能していくため最大限貢献していきたい。