

第23回衛星設計コンテスト

事務局使用欄

受付番号 2724

年 月 日

アイデア概要説明書

応募区分 ジュニアの部

1. 作品情報・応募者情報

作品名 小型疑似静止衛星システム「HEXAGON」			
作品名 副題 High-speed EXpanding Architecture on Global Orbit Network “HEXAGON”			
	氏名(フリガナ)	学校名、学科	学年
代表者(正)	井手 祐太 (イデ ユウタ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	2年
代表者(副)	森永 俊太郎 (モリナガ シュンタロウ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	2年
メンバ1	富田 夏帆 (トミダ カホ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	2年
メンバ2	森 愛月 (モリ アツキ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	2年
メンバ3	大嶺 太聖 (オオミネ タイセイ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年
メンバ4	吉岡 航輝 (ヨシオカ コウキ)	長崎県立長崎西高等学校 普通科	1年

2. アイデアの概要

高度 800km の極軌道上に小型人工衛星を 510 基配置し、地球表面を全網羅した疑似的な静止衛星システムの構築方法について考察する。極軌道上に適切に配置された人工衛星間でピア・ツー・ピア通信によるデータ共有を行うことにより、地表から見て疑似的に静止しているように動作するだけでなく、ほぼリアルタイムな衛星画像の取得が可能となる。

3. 目的と意義

(a) 目的

高度 800km 程度の低軌道を周回する人工衛星は、約 100 分で地球を一周する。小型人工衛星が個人で利用できるほどに普及するには、地上局上空を通過する回数の少なさや、通過時間の長さ等の問題を解決しなければならない。しかし、高解像度での撮影や赤道上以外での真上からの撮影を実現することは、静止軌道では困難である。そこで本研究は、極軌道を周回する小型人工衛星に疑似的に静止衛星と同等の機能をもたせる方法を考案し、その結果、人工衛星の個人利用が活性化することを目的とした。

(b) 重要性・技術的意義等

小型人工衛星にカメラを搭載して地表を撮影する例は増えてきているが、コマンドをアップリンク→撮影→ダウンリンクするには、衛星が撮影目的地へ到着後に地上局上空を通過するまでのタイムラグが発生し、一基の小型衛星だけでのリアルタイムに近い画像取得は困難である。本研究では、互いにピア・ツー・ピア（以下 P2P）通信が可能な複数の小型人工衛星を考え、高速に画像データを取得する方法について考察し、実用例を提案する。

4. アイデアの概要

■小型人工衛星の配置方法

高度約 800km の極軌道上の複数の小型人工衛星で、すべての地球表面をカバーするための効率的な配置を考える（図 1）。一基の人工衛星が、半頂角 45° の円錐内の範囲の地上局と通信できるものとする（図 2）。衛星同士の間隔が広がる赤道上空でも、通信範囲や撮影範囲に隙間ができないよう、正六角形を並べるように衛星を配置する（図 3）。 $40000\text{km} \div 800\sqrt{3}\text{km} \div 2 \times 2 \div 30$ より、軌道面は 30 面必要で、同一軌道面上の衛星同士の距離は、2400km であるため、一つの軌道面には $40000\text{km} \div 2400\text{km} \div 17$ 基の衛星が並ぶ。以上の計算により、合計 $30 \times 17 = 510$ 基の人工衛星を配置すれば、地上のすべての場

所で常に一基以上の人工衛星が見え、一基につき最大で約 214 秒間の通信が可能になる。

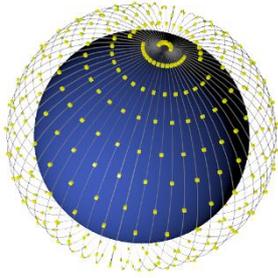


図 1：複数の軌道面に配置

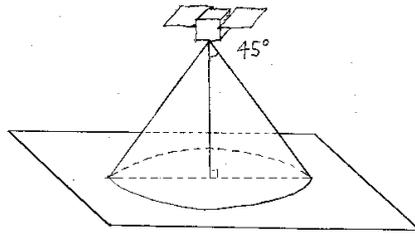


図 2：半頂角 45° の円錐内をカバー

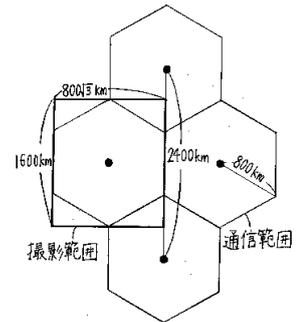


図 3：六角形を敷き詰める

■小型人工衛星間の通信方式

小型人工衛星は互いに通信ができ、P2P 通信を用いる。P2P 通信は、特別なサーバーを必要としない通信方式で、すべての人工衛星がサーバーかつクライアントとなる。P2P ネットワークでは人工衛星間でバケツリレーのようにデータが拡散するため、1 つの人工衛星に送られたコマンドはすべての人工衛星で共有される。また、撮影画像のファイルは、撮影年月日・画像の中央の緯度経度を用いた『20151114-132500-035. 692N-139. 758E. jpg』等のファイル名で保存する。利用者からの要望があると、ファイル名を元に該当する画像を持っていると判断した衛星が、画像を自基保存用のフォルダから拡散用のフォルダにコピーし全衛星に拡散する。こうすることで、地上局上空を通過するすべての衛星がその画像を持っていることになり、どの衛星からも画像をダウンロードできるようになる。その結果、一基の衛星へのアクセスの集中が避けられ、衛星が故障してもシステム全体への影響が少なくなる。また、10 分が経過すると新たな画像が撮影されるため、拡散された画像は削除される。

■画像

一基の衛星が撮影する画像は、正六角形に外接する $1600\text{km} \times 1384 (=1600 \times \sqrt{3} \div 2)\text{km}$ の長方形とする (図 3)。また、カメラの分解能は 7m、色は 8bit (=1byte) 色を使用し、地上の様子の確認や農地の観察が可能となっている。画像のピクセル数は $(1600 \times 1384)\text{km}^2 \div (7 \times 7)\text{m}^2 \div 4.52 \times 10^{10}\text{px}$ になるため、この画像一枚を bmp 形式で保存すると、 $4.52 \times 10^{10}\text{px} \times 1\text{byte} \div 45.2\text{GB}$ となる。撮影した画像を衛星内で JPEG 形式に圧縮し、1/20 に圧縮されると仮定すると、画像一枚当たりのデータ量は約 2.3GB となる。このような衛星画像は、すべての衛星が 10 分おきに撮影する。一基の衛星は、P2P 通信によって保存し得るコピーの最大量計 510 枚と、後述する災害の観測用に、自基で撮影した過去 10 分おきに 24 時間分の画像計 144 枚を保存できるようにするため、各衛星のストレージの容量は $2.3\text{GB} \times (510+144)\text{枚} \div 1.5\text{TB}$ となる。510 基の衛星により地球上の全範囲を常に観測しているため、静止衛星のように一定の地域を常時観測できるだけでなく、その機能をどの地点でも利用することができる。

■地上局

日本と南米、離れた 2 ヶ所に地上局を設置し、効率的に通信を行えるようにする。地上局は、コマンドのアップリンク、テレメトリや撮影した画像のダウンロードに使用する。また、前述したように、一基の人工衛星は 214 秒間地上局と通信可能なため、通信速度を 100Mbps (=12.5MB/s) とすると $12.5 \times 214 \div 2.7\text{GB}$ のデータをダウンロードでき、画像一枚をダウンロードするのに十分である。

■小型人工衛星の仕様

観測機器として、分解能 7m のカメラを搭載する。アンテナは、コマンドアップリンクにはモノポールアンテナ、テレメトリダウンロードにはダイポールアンテナを搭載する。地上局へのミッションダウンロードには、X バンドのフェーズドアレイ・アンテナを搭載する。また、人工衛星の進行方向の前後方向に、P2P 通信のための K バンドのフェーズドアレイ・アンテナを搭載する。

■具体的な運用方法

東京にいる利用者が、今度の旅行先であるカナダの紅葉の進み具合を確認したい場合を例にして、具体的なデータの流れを説明する。まず、利用者がスマートフォン等で取得したい画像の緯度・経度を指定し、そのデータをインターネットを経由して地上局へ送る。地上局は、最寄りの衛星一基にコ

マンドを緯度・経度情報とともに送信する。コマンドを受信した衛星は、P2P 通信を介してすべての衛星にコマンドを拡散する。このとき、指定した地点の緯度・経度を含む最新の画像を所持していると判断した衛星が、その画像を全衛星に拡散し、そのとき地上局上にいる衛星が画像を地上局にダウンロードする。最終的に、地上局からスマートフォン等へインターネットを經由して画像がダウンロードされる。こうして、利用者は紅葉の進み具合が確認でき、旅行の計画を立てることができる。

このように、異なる衛星に対してアップリンクとダウンリンクをすることになり、画像の撮影も別の衛星が行うが、P2P によりコマンドやデータが共有されているため、地上局からは同じ人工衛星に対して通信を行っているように見える。また、地上局からは人工衛星が必ず一基見える配置で、いつでもコマンドやデータの送受信が可能であるため、画像を撮影した人工衛星が地上局の上空を通過するまで待つ必要が無い。

以上のような 510 機の小型人工衛星により構築されるシステムがあれば、個々の衛星が周回軌道にあることを意識しなくてよい。このシステムを「小型疑似静止衛星システム『^{ヘキサゴン}HEXAGON』」と名付ける。

5. 得られる成果

■ほぼリアルタイムな衛星画像の取得

小型人工衛星が少数の場合は、衛星画像を撮って戻ってくるまでにタイムラグが生じる。一方、HEXAGON システムでは、常に地上局と通信可能な衛星が一基以上存在するため、静止衛星と同じようにすぐに画像をダウンロードできる。

■個人利用

高頻度での撮影が可能のため、次のような利用が考えられる。旅行先の紅葉や桜の開花の進み具合、天気などを個人で簡単に確認できる。また、農地の作物を撮影した画像を解析すれば、作物の成長・病気の有無・花や果実の様子がこれまでになく高頻度で確認でき、より多くの農家へ利用が広がる。

■天体観測への応用

人工衛星からみて地球と逆側にもカメラをつけると、天体観測衛星として機能する。さらに、HEXAGON システムにしかできない機能としては、軌道上の人工衛星が入れ替わりで画像を撮影することで、宇宙に対して静止しているかのような連続写真やタイムラプス動画を取ることができる。これは、周回軌道にあるハッブル宇宙望遠鏡にはできない撮影方法である。日食、月食、オーロラ等、大きな天文イベントの撮影もできるようになり、自分が住んでいる地域では見えない南半球の星座等を観測することもできる。雲の影響もないため、小中高生が個人の自由研究に使うツールとしても優れている。

■災害発生時の対応

HEXAGON システムの人工衛星では、地球上の全地点を撮影し、撮影した画像を 24 時間衛星内に保存しておくため、災害発生時には地球上のどの地点の画像も 10 分間隔で 24 時間前まで遡って取り出せる。そのため、その地点の上空に静止衛星が存在し、常に監視を行っているように利用し、高頻度で撮影された画像を災害対応に役立てることができる。例えば、地震の場合には、被害状況・道路の破損・地震火災の有無などを確認し、支援の優先順位やルート等の決定に役立つ。

■トレーサビリティへの応用

商品のバーコードを読み取ると、HEXAGON システムを利用して、産地や関連地域のリアルタイム画像が表示される等の応用が考えられる。

6. 主張したい独創性または社会的な効果

低軌道を周回する小型衛星を静止衛星として運用することは通常不可能である。また、準天頂衛星のような軌道であれば、特定の地域の上空に長時間留まらせることは可能になるが、他の地域へ移動させることが不可能となる。本研究のように、小型人工衛星を複数利用すれば、静止衛星と同等以上の性能が発揮できることがわかり、小型人工衛星開発の新たなメリットが提案できたと考えている。

近い将来、小型人工衛星がもっと普及したときに、互いに連携できる仕組みが整っていれば、HEXAGON システムのようなつながりが生まれ、多くの「個人用人工衛星 (= マイ衛星)」が飛行するようになり、さらにその先には、人工衛星が「生活必需品」となる社会が訪れるかもしれない。