- 的熱解析, 第 21 回宇宙科学技術連合講演会講演集 (1977 年 10 月), pp. 128-129.
- 12) 三菱電機(株): 超低高度衛星 DAS の概念設計 (その 2) 検討報告書 (1977).
- 13) Mori, H.: An Onboard Navigation for an Extremely Low Altitude Satellite, Thesis for the Degree of Engineers, Stanford University (1975).
- 14) 森 彦彦, 山本 嘉: 超低高度人工衛星 DAS の軌道要素変化に関する近似解の有効性について, 第 21 回宇宙科学技術連合講演会講演集 (1977 年 10 月), pp. 122-123.
- 15) 五代富文: 固体ロケットの推力中断と大きさ制御, 日本航空宇宙学会誌, Vol. 18, No. 199 (1970), pp. 297-307.
- 16) 日産自動車(株): 超低高度衛星 DAS 用 TMC 固体ロケットの概念設計 (1976).

アマチュア衛星*

森 本 重 武**・米 田 治 雄***

小 室 圭 五****

1. 在 来 の 経 過

人類, 初の人工衛星スプートニク 1 号が 1957 年 (昭和 32 年) に打ち上げられたとき, そのビーコン電波のひとつ (20 MHz) がたまたま 21 MHz のアマチュア・バンドに接近していたために多くのアマチュア無線家がこれを受信して宇宙に対する関心を深めた. ということからアマチュア無線が人工衛星を使用し始めたのはかなり早く 1961 年 (昭和 36 年) にはオスカー 1 号がエキスポローラ 36 号の打上げのさいに piggy back (便乗者) として打ち上げられた. オスカーは Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio の略である. これはアメリカの最初の人工衛星が打ち上げられてから 3 年後であった.

その後, ビーコン信号送信のみのオスカー 2 号が打ち上げられたが 3 号にいたって初めてトランスポンダが搭載せられてアマチュア通信衛星が誕生した. これは 1965 年 3 月 9 日のことである. この衛星は短命であったがヨーロッパおよび北米大陸のアマチュア無線局間の交信ができた. また, 短命であったのみならずインバンド方式のトランスポンダ (144 MHz 帯のみ) であったため高度の技術を備えたものでなければ利用できなかった.

4 号に至り初めてクロス・バンドのトランスポンダが採用された. 上に 144.100 MHz, 下りに 431.938 MHz を使用することにより上下の相互混信が避けられ一般のアマチュアによる利用が容易になったが所期の軌道にのらず短命に終わった.

オスカー 1 号から 4 号まではアメリカの西海岸の宇

宙関係の仕事をしているアマチュア無線家の団体オスカー協会が開発したものであるが, 5 号以降は 1969 年に設立された国際的なアマチュア衛星通信の振興団体 Amateur Radio Satellite Corporation (AMSAT, 非営利科学振興法人, ワシントン所在) の手により具体化された. 前述のものは短命で軌道も不確実なもので研究にもあまり役に立たないのでアムサットは NASA との折衝を重ね遂に 1970 年 1 月にアムサット・オスカー 5 号を誕生させた. この衛星の本体はオーストラリアのメルボルン大学のアマチュア・グループで製作せられアムサットの手によって姿勢安定装置などが取り付けられ, 総合試験はゴダード宇宙飛行センターに勤務するアマチュアによって行なわれた. 5 号に乗せられたテレメータにより姿勢安定装置の効果, 全日照に備えての熱設計の妥当性が確認できたほか, 29 メガバンドで異常伝搬現象によりオーバー・ホライズンや対照点伝搬が生ずることが判明した.

1972 年 10 月に打ち上げられた 6 号は 4 年 8 か月動作し続け本格的アマチュア衛星となりわが国のアマチュアの使用も多くなった. これは主として米国, 豪州, カナダ 3 国のアマチュアの合作によるもので初めて太陽電池を備え上り周波数 145.9 ないし 146.0 MHz, 下り周波数 29.45~29.55 MHz の通信バンドのほかモールス信号による 29.45 MHz と 435 MHz のテレメトリ・ビーコン送信装置を備え地上よりの諸管制指令に応ずるアルミ弁当箱を思わせる衛星であった. 太陽電池, Ni-Cd 電池の容量不足により全日照以外は週の中日に休電日を設け週末の利用に応ずるような運用を行なった.

次の 7 号は 1974 年 11 月に NOAA 4 号衛星打上げにさいしてスペインのインタサットといっしょに便乗して打ち上げられた. 米国, 豪州, カナダ, 西独のアマチュアの国際協力による衛星で現在, 活躍中である.

* 昭和 53 年 3 月 6 日原稿受理 Amateur Satellite

** エレクトロニクス協議会 Shigetake MORIMOTO

*** (株)電通 Haruo YONEDA

**** 国際電信電話(株) Keigo KOMURO

太陽電池が増加されたので連続運転が可能で全世界のユーザーは少なくとも5,000名と推定されている。先の6号が健在であったときは年に2回、6号と7号とが可視範囲にはいったので地球→7号→6号→地球という衛星間通信を含む遠距離通信の記録が立てられた。わが国のアマチュアもこれに成功している。これはハウスキーピング用のコマンド・ロジック回路を持ち、ある程度の自動利得制御機能を有しているが上り信号が規定以上強くなると、予期しなかった現象が起こるため地上からの管制もしばしば行なわれている。

将来のアマチュア衛星 phase III (第3世代) はセミ静止の長だ円軌道をもたせたもので1979年末にESAのアリアンヌ2号に便乗して打ち上げられる予定である。

また1978年春3月6日に新衛星(AOD)がNASAのLANDSAT-Cの打上げに便乗して打ち上げられ8号となった。これには日本アマチュア衛星通信協会(JAMSAT)の会員が4年がかりで開発した、上り145.9 MHz台、下り435 MHz台のトランスポンダも搭載されている。

さらに近くソ連からアマチュア通信衛星が打ち上げられることになっており関心の的となっている。

2. アマチュア衛星業務

アマチュア衛星業務が国際的に正式に認められたのは1971年にジュネーブで開催された宇宙通信主管庁会議(WARC-ST)からであって、アマチュア衛星業務はアマチュア業務の目的と同一で宇宙局を使用する無線通信業務と規定されている(国際無線通信規則第1条第2A節)。

また、この会議でアマチュア衛星通信用としてアマチュア無線用周波数帯内で第1表のような周波数帯がきめられている。

なお、この規則第41条により他の業務と共用する周波数帯で運用するアマチュア衛星は有害な混信を与

えるときには発射を制御する装置を有し、これを制御できる地球指令局を設置することが義務づけられている。この混信問題に対して国際無線通信諮問委員会(CCIR)の第2研究委員会(宇宙研究と電波天文)で研究問題13-1/2として研究されており、アメリカから現在に至るまで混信問題はないという報告を提出している。

わが国では、この無線規則に対応して省令が改正せられ昭和51年1月1日からアマチュア局が必要な手続を経て宇宙通信業務をあわせて行なえることになった。

3. アマチュア衛星

現在のアマチュア衛星の特徴は、(1)フリー・アクセスで誰でも無料で使用できる、(2)チャンネル化せず50 kHzあるいは100 kHzの帯域幅を自由に使用する、(3)占有周波数帯幅を狭くするためにA1電信およびSSB電話を使用することになっている。トランスポンダの電力を多く消費するようなAMあるいは帯域の広いFM電波は禁止している。わが国の145 MHzおよび435 MHz帯のアマチュア無線で広く用いられているFMは衛星通信に使用することはできない。

Layout of the spacecraft

The spacecraft in assembled form

第1図 Phase III 衛星

第1表 アマチュア通信用周波数

アマチュア衛星業務用周波数帯	わが国のアマチュア業務用周波数帯
7,000~7,100 kHz	7,000~7,100 kHz
14,000~14,250 "	14,000~14,350 "
21,000~21,450 "	21,000~21,450 "
28~29.7 MHz	28~29.7 MHz
144~146 "	144~146 "
435~438 "	430~440 "
	1,215~1,300 "
	2,300~2,450 "
	5,650~5,850 "
	10.00~10.5 GHz
24~24.05 GHz	24~24.25 "

第2表 AO-7 衛星の諸元

軌道	1,450 km のほぼ円形の極軌道で太陽同期、傾斜角 101.7 度、周期 114.9448 分、2 日同期で世界のどこでも、そのローカル・タイムで午前 8 時ないし 9 時および午後 8 時ないし 9 時に頭上近くを通過する
トランスポンダ	モード A : 入力周波数帯 145.85~145.95 MHz 出力周波数帯 29.40~29.50 MHz (周波数反転なし) 出力 1~2 W(P _p), 入力 -100 dBm にて出力 1 W モード B : 入力周波数帯 432.125~432.175 MHz 出力周波数帯 145.975~145.925 MHz (周波数反転) 出力 6~8 W(P _p) または 3~4 W(P _p), 入力 -106 dBm にて出力 2.5 W
ビーコン	モールスあるいはテレタイプ モード A : (モールスコード) 29.502 MHz にて出力 100~200 mW 435.103 MHz にて出力 300 mW モード B : 145.972 MHz にて出力 100~200 mW 2,304.091 MHz にて出力 40 mW (未使用)
アンテナ	29 MHz 用 半波長ダイポール (安定用磁石に平行) 145 MHz 用 1/4 波長、傾斜形ターンスタイル、円偏波 435 MHz 用 同上のものを 3/4 波長として使用 2,300 MHz 用 偏波ヘリカルアンテナ
到達距離	約 8,000 km (地球局間)
テレメトリ	24 チャンネル、10 語/分および 20 語/分のモールスにより送信、電池および電圧安定回路出力電圧、太陽電池および負荷電流無線周波出力、機器温度等を 90 秒あるいは 180 秒ごと (モールス速度の変化により) くり返し送信 テレタイプ符号化器、60 チャンネル、5 単位ボー符号により約 1 項目/秒の速度で送信、符号化は衛星クロック信号およびテレコマンド信号の記憶レジスタ内容の両方について行なわれる。テレタイプテレトリは地上からのテレコマンドによって全項目の巡回送信のほか 1 項目のくり返し送信可能
コードストア	896 ビットデジタルシフトレジスタ、18 語のモールス符号および 22 語のテレタイプ情報を地球局から記憶させ、これを再生送信させることが可能
テレコマンド	21 コマンド: トランスポンダ、435 MHz ビーコンのオン、オフ、テレメトリとコードストアの選択、モールス送信速度の切替等が可能
電源	太陽電池 (n-on-p), 14 V ニッケルカドミウム電池 (6 AH), 初期供給電力 約 14 W
姿勢安定法	受動形磁気安定、長さ 20.3 cm のアルニコ 5 磁石 4 本使用し、衛星の +Z 方向が常に北極に向かうようにする。スピニング制御にはパーマロイ棒によるダンパを使用。スロースピンに対して傾斜形ターンスタイルアンテナ素子の裏表を白と黒の別に塗り太陽圧の作用を利用している
形状	八面柱体、半径 42.4 cm, 高さ 36 cm
重量	28.9 kg
予想寿命	3 年

第3表 AO-8 諸元

軌道	890 km のほぼ円形の極軌道で太陽同期、傾斜角 98.99 度、周期 103.232 分、1 日同期で AO-7 と異なり毎日ほとんど同時刻に各地上空を通過する
トランスポンダ	モード A : AO-7 のものと同じ モード J : 入力周波数 145.90~146.00 MHz 出力周波数 435.20~435.10 MHz (周波数反転) 出力 4 W(P _p)
ビーコン	モード A : 29.402 MHz にて 250 mW (モールスコード) モード J : 435.097 MHz にて 100 mW
到達距離	約 6,400 km (地球局間)
アンテナ	29 MHz 用 半波長ダイポール (安定用磁石に垂直) 145 MHz 用 1/4 波長傾斜形ターンスタイル、円偏波 (A, J モード逆) 435 MHz 用 1/4 波長モノポール
テレメトリ	6 チャンネルモールス
テレコマンド	AO-7 とほぼ同じ
電源	同上
姿勢安定法	“
形状	6 面体, 38×38×38 cm
重量	27.2 kg
予想寿命	3 年

第4表 Phase III 衛星の諸元

軌道	遠地点約 39,000 km, 近地点約 1,460 km, 傾斜角 67 度 (まだ確定しないが遷移軌道に近い) 周期約 12 時間
トランスポンダ	145→435 MHz および 435→145 MHz のもの各 1 台、出力約 50 W
電源	太陽電池および Ni-Cd 電池
姿勢安定法	磁気高度制御およびスピニング制御、太陽および地球センサ使用
形状	第 1 図参照
重量	約 55 kg

第5表 ソ連衛星の諸元

軌道	950 km のほぼ円軌道、傾斜角 82 度、周期 102 分
トランスポンダ	入力周波数 145.8~145.9 MHz 出力周波数 29.3~29.4 MHz 出力 1 W(P _p)
到達距離	6,000 km (地球局間)

第2表、第3表に示す。

上記のものは比較的高度が低く周期も 100 分程度で到達距離および通信時間が短く、また通過速度が早いのでドップラー効果による周波数変化が激しく、音声はもちろん電信でも影響があるので、1979 年末の打

い、日本アマチュア無線連盟が新たに制定した V・UHF 帯の周波数使用区分が実施されれば A1・A3J による衛星通信は円滑に行なえるようになる。

現在、動作中の AO-7 および AO-8 衛星の性能を

第6表 人工衛星とアマチュア無線家

西暦	プロの衛星	世界のアマチュア衛星	日本のアマチュア衛星
1957	(ソ) 10月4日 スプートニク1		20 MHz のビーコン電波受信
1958	(米) 1月31日 エクスプローラ1		JA1UM を中心に 108 MHz の受信
1959	(ソ) 10月4日 ルーニク3 (月の裏側写真撮影)		
1960	(米) 8月2日 エコー1 (受動衛星アルミ箔 30 mφ)	OSCAR 計画協会設立	
1961	(ソ) 4月12日 ウォストーク1 (人間衛星)	12月12日 OSCAR1 (ビーコン)	
1962	(米) 2月10日 フレンドシップ7 (人間衛星)	6月2日 OSCAR2 (ビーコン)	1965年当時アクティブ局JA1AN, JA1UM, JA1DI, JA1IU, JA1FUI, JA1BIR, JA5YAW, JA5AAW/3, JA8PL, JA6AW, 三浦, JA2-1031
1963	(ソ) 6月16日 ウォストーク6 (女性クルーの搭乗)		
1964	(米) 8月26日 ニンバス1 (気象衛星) (米) 11月28日 マリーナ4 (火星接近 65年7月14日)		OSCAR 世界ネット JA1EC 活躍
1965	(ソ) 4月23日 モルニア1 (長楕円通信衛星)	3月9日 OSCAR3 (トラポン) 12月21日 OSCAR4 (トラポン)	センターニュースに「OSCAR-3」の写真紹介 2月より「OSCAR III 追跡局殿」へとして 小冊子発行 (JA1BIR) JA1CHN 中学生の夏 季研究テーマに 2mRX を渡し、数十局の星 を確認(周期, 受信音のちがいが、ジージー、 ビービー) させ成果を上げる
1966	2月3日 エッサ1 (気象衛星)		(気球衛星の可能性を討議)
1967			
1968			
1969	(米) 7月16日 アポロ11 (月へ人間着陸 7月20日)	AMSAT 設立	
1970	(日) 2月11日 おおすみ (中) 4月24日 (メロデー衛星)	1月23日 OSCAR5 (ビーコン) (A-O-A)	2m 同好会 AMSAT へ加盟 (ハード志向を 目指す) アマチュア衛星について講演会開催 (東京都支部, 2m 同好会)(以後毎年開催講師 JA1BIR, JA1KAB, 養妻, JA1ANG 他)
1971	(日) 2月16日 たんせい (日) 9月28日 しんせい		
1972	(日) 8月19日 でんば	10月15日 OSCAR6 (トラポン) (A-O-C)	10月24日 JA8PL-JA8ARS (人工衛星 JA 初受信)
1973	(米) 11月3日 マリーナ10 (水星探測 74年3月29日)		AMSAT OSCAR NEWS の発行 (JA1ANG) 2m→70 cm トラポン製作依頼 (2m 同好会 へ)
1974	(日) 2月16日 たんせい2号	11月15日 OSCAR7 (トラポン) (A-O-B)	4月28日 JAMSAT 設立
1975	(日) 9月9日 きく (ソ) 12月22日 ラドガ (通信衛星)		10月7日 AMSAT 副会長 (W3GEY) 来日 (JAMSAT とのミーティング) 8月30日 JA6DR→W6PO (EME)
1976	(加) 1月7日 CTS (実験放送衛星) (日) 2月19日 たんせい3号		9月25~31日 擬似衛星の実験局開設 (ハム ベンション)
1977	(日) 7月14日 ひまわり (日) 12月15日 さくら	7月 OSCAR6 休止	JAMSAT による AOD 用 J モード・トラ ポンの完成
1978	(日) 2月4日 きょっこう (日) 2月16日 うめ2号	3月6日 OSCAR (トラポン) (A-O-D)	3月6日 J モード・ビーコンの受信に成功
1979		Phase III	

上げを目標として長だ円軌道の Phase III 衛星が企画され現在、国際協力のもとに強力に推進されている。設計目標は第4表に構造は第1図に示す。

昭和52年、ソ連は国際電気通信連合の手続に従い

周波数登録委員会 (IFRB) にアマチュア衛星打上げの事前通告を行なった。これはソ連・アマチュア・システム “RS” と称するもので打上げ時期は1977年~1978年で個数は3~4個となっている。諸元は第5表のと

おりである。

オスカー7号のAモードによく似ているようであるが太陽同期ではないようなので電離層の時期的変化による伝搬情況の差違の解明に役立つものと思われる。

4. 地球局設備

アマチュア衛星通信では A3J および A1 電波が主として使用され耳が慣れていることもあって SN 比が 10 dB 程度で通信ができ、電信では 0 dB でよいとされている。

現在使用されている各周波数別の地球局と衛星間の伝送損失は距離約 2,000 km の場合次のごとくなる。

29.5 MHz: 130 dB

145.9 MHz: 144 dB

435 MHz: 154 dB

衛星自体の上り回線の受信感度は次のごとくである。

AO-7 号, AO-8 号の

A モード (145.9 MHz) -95 dBm

AO-7 号の B モード (432 MHz) -105 dBm

AO-8 号の J モード (145.9 MHz) -105 dBm

A モードの場合の伝送損失は 144 dB であるのでアップリンク・パワーは 49 dBm (実効放射電力 80 W) となる。

日本のアマチュア無線局の送信機出力は普通 10 W であるからアンテナ利得 9 dB のものでよい。これは給電線損失が小さいときは 7 素子の八木空中線でよい。

B モードの場合は衛星側の受信感度が A モードに比し 10 dB よいため伝送損失の増加と相殺して 10 W 出力でアンテナ利得 10 dB の空中線でよいことになる。

J モードの場合は 10 W 出力にダイポールアンテナでよい。

このように低利得の空中線を使用することにより衛星トランスポンダの過負荷を防げるが、これを補うため地球局の受信機は感度がよいことが望ましく市販のものにプリアンプを付加することがよい。

以上、現在までのアマチュア衛星について述べたがアマチュア無線家が初めて衛星よりの電波を受信してから 20 年になるが本格的衛星通信ができるようになったのはオスカー6号が打ち上げられた 1972 年からであるから、数年しか経過していないのでようやく創生期(第1世代, 第2世代)が終わったところである。従来のアマチュア無線は 50 年にわたって電離層伝搬によって発展してきたのでアマチュア衛星の導入は画期的なものである。(第6表参照)

アマチュア衛星は前述したごとく国際協力のもとに進められ、今後もさらにいっそう推進されるものと思われる。また漸次、高級な衛星の打上げが計画され、アマチュア無線も変革していくであろう。

他方、5号衛星あたりからアマチュア衛星は青少年の宇宙知識、進んでは宇宙工学全般に関する啓蒙に役立つことがわかり米国の高校では7号および8号が生きた教材として活用されており、8号がウィーク・デイには受信の容易なAモードで主として運用されているのはこのためである。

国際電気通信連合では明年(1979年)に国際無線通信規則の全面的見直しを行なう主管庁会議(WARC-G)を開催する予定でアマチュア無線についても検討される。とくに衛星通信の開発、発展のためにアマチュア衛星通信用周波数の拡張が必要である。

本稿を終えるにあたり日本アマチュア衛星通信協会の会員各位をはじめ日本アマチュア無線連盟、その他、関係各位のご指導、ご協力に感謝するとともに今後のいっそうのご援助を熱望するものである。

複数個衛星の同時打上げ方式*

柴 藤 羊 二**・秋 元 敏 男**

1. はじめに

宇宙開発事業団では、今後打上げが計画されるNロケットおよびN-IIロケットの打上げ能力を有効に利用し、かつ多くの衛星利用者に同ロケット利用の機

会を提供するために、複数個衛星の同時打上げ方式を検討している。第1図はNロケット3段式打上げおよびN-IIロケット再着火2段式打上げの打上げ能力を示したものである。たとえば、軌道高度1,000 km, 軌道傾角50度の円軌道の場合、Nロケット3段式打上げで約650 kg, N-IIロケット再着火2段式打上げで約1,000 kgの打上げ能力があり、このような高度軌道には十分複数個衛星の同時打上げが可能であ

* 昭和53年3月1日原稿受理 Multi-Satellites from One Launching

** 宇宙開発事業団 Yoji SHIBATO and Toshio AKIMOTO