テルスターとその実験

国際電信電話株式会社 富 田 正 義

能動中継形の通信衛星の第1号として打ち上げられたテルスター衛星の構造、電子装置および軌道などについて紹介を行ない、テルスターによって行なわれた通信実験と宇宙における放射能の測定について解説を行なった。そのうち今後とくに重要と思われるのは、放射能に対して電子装置の防護の強化と、衛星の長寿命化をはかることである。

昨年7月、人工衛星テルスターが打ち上げられ米国と英、仏国間でテレビの国際中継が行なわれ、欧州各国ともテレビ信号の交換が行なわれた。このテルスター計画は米国の ATT 社が提案し¹⁾、ベル研究所の技術陣が衛星の開発を行ない、NASA との協同実験が行なわれることになったものである。

この計画は 30~50 個の能動衛星を高度 数千 km のランダム軌道に打ち上げ、全世界にわたる広帯域通信網を確立しようとするものである。テルスター I 号によってその基本的な実験が行なわれたわけであるが、その実験の主目的は、広帯域通信の可能性のほかに、宇宙空間における放射能の測定とその電子機器への影響の試験とがある。

以下、テルスター衛星と、これによって行なわれた実験について解説する。

写真 1 通信衛星テルスター

"TELSTAR and the Experiments" by Masayoshi Tomita

1. 衛星の構造と装置²⁾³⁾

衛星は重量約 170 ポンド、直径約 34.5 インチのほぼ球形をした 72 面体で、写真 1 にみるような外観をしており、その枠はマグネシウム製、面はアルミニウム製である。72 面中、60 面には合計 3600 個の N-on-P 形の太陽電池が取付けられており、その最大出力は 14 W である。この太陽電池の表面は電池を放射能から護るために、厚さ数十ミルの人工サファイヤで被われている。衛星内部には 19 個の Ni-Cd 電池があり、その出力は約 35 W である。

衛星の中央部には多くの空洞が二列に並んでおり、これは 6 Gc 用と 4 Gc 用のアンテナである。このうち小形のものが 6 Gc 用で 1 組 8 個、9 組で構成され、各空洞中には L 形の放射器があり、指向性は軸対称で、中心

軸から 30° 以上はほぼ同じ利得のドーナツ形の指向性となるよう工夫されている。大形のものが 4 Gc 用で、8×6 個で構成されている。その結果、衛星に姿勢安定化のため 180 rpm のスピンのかけられても、つねに同じ指向性が得られる。また衛星上部には VHF 用のアンテナがあり、テレメータ送信用と指令受信用に使われるが、この指向性もドーナツ形である。

広帯域通信用の中継装置は第 1 図に示すブロックダイアグラムで構成されており、地上からの 6390 Mc (右旋波) を受信し、90 Mc の中間周波増幅器で増幅し、4170 Mc (左旋波) に変換して 2.25 W で送信する。中継器の利得は約 100 dB であり、その出力は AGC によってつね

に一定に保たれている。この装置は 14 個のトランジスタと 1 本の TWT 管より構成されており、TWT 管はピーコン信号の 4080 Mc も 200 mW に増幅する。

放射能の測定装置には 4 個のシリコンダイオードがあり、その表面に衝突する陽子のエネルギーが測定され、その測定結果はテレメータによって地上に送信される。測定範囲は 2.8~80 MeV であるが、電子は別の検出器で 0.25~1.06 MeV の範囲が測定される。また放射能による太陽電池の損傷の程度を測るため、試験用太陽電池には 3 種類の厚さの異なるサファイヤが被せられており、その劣化の程度がテレメータで測定できる。

テレメータによって測定される情報は 136 Mc, 出力 250 mW の送信装置によって地上に送られる。測定項目は宇宙の自由電子や陽子の密度とエネルギー、衛星の表面や電子装置内部の温度、圧力、表面にあたる太陽光線の量および電子装置の電圧、電流などの 118 項目である。136 Mc の電波は常時発射されていて、VHF のピーコンに使用されるが、テレメータは地上からの指令によって変調がかけられ、情報は 7 ビットで構成され、PCM-FM-AM 電波によって地上に送られる。

指令受信装置は 120 Mc の指令受信機と符号分解回路、およびスイッチ群で構成され、中継装置の電源の接断や、テレメータ送信機の変調の接断など 15 項目の制御ができる。信号は符号化されて、200 W の地上局送信機から送信される。この指令受信装置は故障にそなえて 2 系統準備されている。

2. 打ち上げと軌道

1962 年 7 月 10 日ケープカナベラル基地から NASA の手によってソー・デルタロケットで打ち上げられ無事軌道に乗り、すぐ動作を開始した。これは電子装置が十分に試験されたことと、気泡プラスチックの中に封じ込

まれアルミ容器に密封され、ナイロンの紐で支持した取付けが成功したものであろう。

軌道は遠地点 5637 km, 近地点 953.5 km, 軌道面の傾斜角 44.79°, 周期 157.81 分の楕円軌道である。この軌道面は非常に安定であって、その後の予測軌道情報との差も非常に少ない。衛星が軌道上を飛行している間に摂動によって遠地点、近地点の位置が次第に移動し、その周期は約 200 日である。したがって、2 つの地上局間の通信可能時間も変化することになり、一例として日本で衛星折返し試験を行なう場合について計算を行なうと、1 日間の通信可能時間は 100~300 分という範囲が得られる⁴⁾。

3. テルスターによる実験

テルスターを中継して行なわれた通信実験のうち、テレビの国際中継は画期的なものであった。これはビデオ信号を 3 Mc 程度におさえ、音声信号を FM で 4.5 Mc にのせた帯域幅 5 Mc の信号で、6390 Mc を FM して地上局から送信したもので、そのときの周波数偏移は ± 7 Mc, 周波数帯域幅は 25 Mc である。衛星はこれを 4170 Mc で再送信し、地上局では低ノイズ受信機で受信し、復調には FM 負帰還を利用して感度の向上につとめた。テレビの標準方式が異なるための変換は、主として欧州側で行なわれた。数 10 回の試験が行なわれ、その結果は良好であった。またカラーテレビの中継試験も、行なわれ、満足した結果が得られている。

電話信号による実験も行なわれ、片方向では 600 回線、両方向では 60 回線の中継能力が試験された。片方向の試験は 600 回線に相当するノイズ負荷によるシュミレーションで行なわれた。両方向の場合は、信号帯域幅を 0.3 Mc, 周波数偏移 ± 1.5 Mc, 無線周波の帯域幅 4 Mc, 2 つの搬送波間隔を 10 Mc にとって行なわれた。

第 1 図 テルスター中継装置

このさい、衛星の中継器で2つの信号の間で混変調などにより、ひずみが発生しないように、両地上局でその送信電力を距離に応じて制御し、衛星における両入力がつねに一定になるような自動出力制御が行なわれた。

電話関係の実験は以上のほかに、簡易地上局による両方向1回線の実験⁵⁾と、エコーサプレッサの実験とがある。前者は衛星通信がとかく大規模な地上局を必要とするので、通信容量が少なくともよい場合には簡易地上局でも通信が行なえる可能性を試験するのが目的で、18フィートのアンテナで行なわれ、10フィート程度のアンテナでも両方向1回線の電話が可能であることがわかった。後者は高高度衛星の場合、通話時間の遅れが問題となり、高速エコーサプレッサが必要となるので、その試験のために衛星折返しを6回行ない、等価的に18000マイルの伝送試験を行なったものである。試験は20分間にわたって行なわれ、試験に供したエコーサプレッサの性能は満足すべきものであったといわれている。

その他、数多くの実験およびデモンストレーションが行なわれたが、その主なものは高速データ伝送、電子計算機の制御、新聞紙面の高速伝送、大形気象図の伝送、米、英間で標準時間の精密同期などであり、その数は1000回の軌道中、実験が250回、デモンストレーションが400回にもおよんでいる。

もう1つの目的である Van Allen 帯を中心とする放射能の測定実験においては、テレメータを通して非常に多くのデータが集められた⁶⁾。これらについての実験結果は、多くは発表されていないが、低高度においては人工の核爆発によって、放射能が増加したことが明らかにされた。大略の結果では、陽子の数はほぼ予想値に近かったが、高エネルギーの電子数が予想の10倍も多い値を示した。

4. 寿 命

衛星は約15000個の部品から構成されているので、これらの部品は厳重な試験を受け、細心な注意のもとに組立てられた。組立て完了後、打ち上げ時の衝撃、振動、回転、太陽輻射などに対して十分耐えられるようにシュミレーション試験が行なわれた⁷⁾。その結果、打ち上げ以来4箇月以上無事故で活動が続けられた。この状態が続くかぎり衛星の寿命は太陽電池が放射能によって劣化することによってきまると考えられている。すなわち、50日後に太陽電池の出力は予想通り87%に低下し、2年後でも68%の出力は保ち得るはずで、サファイヤのシールド効果が大いことが示された。しかし11月23日になって1242回目の軌道上で指令に応じないという故障がおこった。これは2系統用意してあった指令受信

装置が両方とも故障したためであり、ベル研究所では地上における模擬実験の結果をもとにして特殊の診断パルスを送信して、符号分解回路中の“O gate”のトランジスタに故障があることをつきとめた。そのシリコントランジスタは異常に大きな量の放射能によって表面に異常がおこり、漏洩電流が増大し、利得が低下したためと説明されており、この回路から電源をしばらく切離す指令を与えて、回復させるのに成功した。現在はその放射能も減少しつつある模様で、今後これによる故障はなくなり、実験を続けることができよう。

6. あ と が き

テルスターI号は非常に大きな成果をあげており、今後も活動を続けると思われるが、ATT社ではこれらの実験結果にもとづいて、この春にII号の打ち上げを予定している。それは放射能に対する防護を強化し、寿命の延長をはかるべくI号よりも高い軌道に打ち上げるものと予想される。テルスター衛星はすでに打ち上げられたリレー衛星、近く打ち上げ予定のシンコム衛星などとともに、衛星通信の実用化に大きな役割を演ずることである。

(昭和38年2月7日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) ATT 提出, FCC Docket No.11866, USA, July 6 (1960)
- 2) Communications via Satellite, Electrical Engineering, June (1962), 382.
- 3) Background to 'Telstar', Brit. Comm. & Electro., May (1962), 353.
- 4) 横井, 佐藤: Telstar I の軌道について, 国際電々研究資料 No. 261, 10 (1962)
- 5) Two-Way Voice Channel via Telstar Established with Compact Ground Station, BLR, Oct. (1962), 342.
- 6) Telstar Provides High-Altitude Radiation Data, BLR, Nov. (1962), 380.
- 7) Telstar-Satellite Test, BLR, March (1962), 98.

テレビジョン学会編集委員

〔編集長〕		〔委 員〕	
鈴木 桂二	N H K	高橋 重雄	電 技 協
		野口 嘉彦	電 監
		林 和夫	N H K
〔幹 事〕		福喜多 久	N H K
池田 辰雄	日本テレビ	藤原 忠志	コロンビア
黒田 秀郎	日 電	前田 晴雄	松 下
宇都宮敏男	東 大	宮川 洋	東 日
中野 道夫	電 機 大	宮崎源太郎	大 立
樋渡 清二	N H K	森本 盛	通 研
藤村 安志	N H K	矢島 経久	ビクター
三宅 康友	日 大	山田 達也	東 芝
吉永 義輝	N H K	吉田 和夫	教育テレビ
		渡辺 義雄	東 京 放 送
〔委 員〕		〔地方委員〕	
荒木 庸夫	東 芝	木村 久生	朝 日 放 送
小原 啓義	早 大	柴田 幸男	東 北 大
岸 源也	東 工	杉多 重雄	三 菱 電 機
杉田 和夫	日 電	宮脇 一男	大 阪 大
村主 行康	電 波 研		
関口 存哉	日 立		
高草木要作	N H K		