

開発物語

東京オリンピックのテレビ映像を世界のお茶の間へ — 世界初の衛星テレビ中継を回顧して —

村主行康，石澤禎弘

まえがき

東京に再度オリンピックを招聘しようという動きを目にすると，日本で初めてのオリンピックが行われてからはや45年が過ぎたことに感慨深いものがある。通信の技術，特に遠距離間の通信はオリンピックのときに大きな刺激を受けて発展してきたことは，短波による実況中継，写真電送による競技結果の伝送などの例を見てもうなずける。東京オリンピックも，アジアで初めて開催されたこととともに，競技のテレビ映像が人工衛星を用いて世界中に送られ注目を浴び，その後の衛星通信の発展を促した。この衛星中継には技術的に種々の問題を解決しなければならなかったと同時に，経費，短い準備期間など，いろいろの制約を抱えていた。この中継に必要な技術開発，装置開発は，映像関係は日本放送協会（NHK）を主体に，衛星中継関係は郵政省電波研究所（RRL）^{*1}を中心とし，関連機関，民間企業が参画する形で進められた。本稿は，中継の実施までの話題のうち，衛星中継関係を中心にまとめてみる。この計画を推進した先輩の多くの方々には既に亡くなられており，直接当時のお話を伺うことはできないが，その御苦勞をしのぶとともに，宇宙中継の中心であった郵政省電波研究所鹿島支所^{*2}での経験を思い出してみたい。なお，資料も散逸しており，不正確な所があればお許しを願いたい。

中継回線の概要

1964年10月10日より開始される東京オリンピック競技の映像をテレビで世界に配信しようと計画したときには，海を越えての電波による映像の伝送回線はまだ存在せず，したがって回線網の設定から始めなけ

ればならなかった。図1に構成された回線のブロック図を示す。オリンピック競技場から送られた映像と音声は代々木のNHK放送センターを経て，映像はSN比改善のための処理^{*3}がなされ，7GHzの臨時回線により小金井の電波研究所に送られた。ここから鹿島の衛星送信局に，伝搬試験用に既に設置されていた，筑波山経由，茨城県の鹿島地上局間の7GHz回線を用いて送られた。この小金井，鹿島局の間にはバックアップ回線として，研究に用いられていた2GHzの見通し外通信^{*4}の直接回線も設けられた。鹿島地上局^{*5}からは新設の送信設備，打ち上げたばかりのシンコムⅢ号衛星^{*6}を経て米国ロスアンゼルス近郊のポイントマグー（Point Mugu）内の受信局で受信され，その映像信号はAT&T^{*7}のロスアンゼルス中継所で，海底ケーブルを通して送られた音声信号と一緒にまとめられた。米国内放送局向けには，ここより，NBC，CBS及びABCの各局へ配信された。またカナダ向けには，カナダ放送局CBCによりテープ録画され，そのテープをトロント，モントリオールに空輸しカナダ国内に放送された。欧州向けは，米国内回線を用いモントリオールの飛行場に伝送され，欧州放送連合（EBU）の手によりテープに収録，このテープをハンブルグに空輸し，ここより欧州の21か国の放送に用いられた。この回線網を通じて競技の様子は遅くとも一日以内で世界の各地で放送された。シンコムⅢ号から送信された信号は，鹿島地上局で再度受信され，代々木のNHK放送センターに逆送

*1 Radio Research Laboratories, 現 独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT)
*2 現 独立行政法人 情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター
*3 正極同期へ変換, 詳細は図4を参照。
*4 散乱波通信ともいう。
*5 現在は地球局の呼称。
*6 表1, 図3参照。
*7 米国電信電話会社

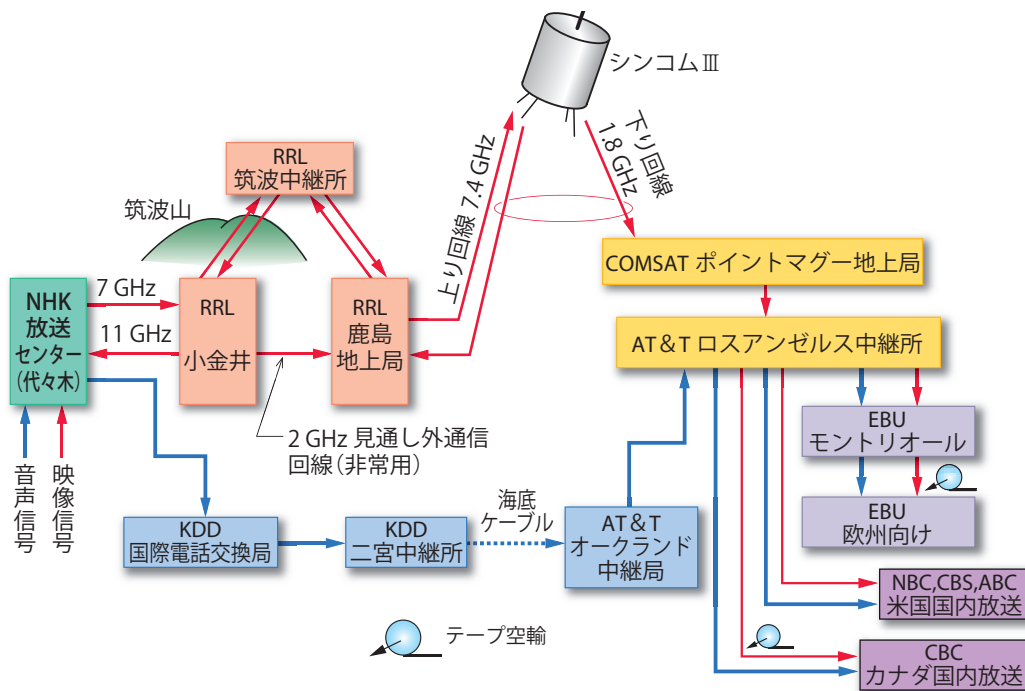


図1 東京オリンピックの信号中継回線の構成

後、画質のモニタに使用された。このようにこの中継の実現には、国内では、郵政省*⁸、日本放送協会（NHK）、電波監理局（RRB）、国際電信電話（株）（KDD）、日本電信電話公社（NTT）、日本電気（株）（NEC）、国外では、米務省、NASA*⁹、COMSAT*¹⁰、NBC、CBS、ABC、CBC、EBU、HAC*¹¹など多くの機関の協力の下、実現されたものであった。しかし現業の外国放送局が、まだ打ち上げられていない、幻の静止衛星によるテレビ中継に参加するための決定には多くの困難があったのであろうか、最終決定は昭和39年7月23日であった。またこの中継回線の成否の鍵は、日米間の中継を行う衛星回線が技術的に成立するのか、及び使用する地上局整備が間に合うかにかかっており、関係機関の合意はもとより克服すべき問題は、技術、スケジュール、経費面と多岐にわたっていた。この時間の流れを図2に示すが、いかに計画から実行までの時間の余裕が少なかったかが分かる。

年	1962	1963	1964
月/日	7/10 ▲ テルスター衛星打上げ	12/13 ▲ リレー衛星打上げ	2/14 ▲ シンコムI打上げ
		7/26 ▲ シンコムII打上げ(同期軌道)	11/23 ▲ 米 (リレー衛星使用)
		3/25 ▲ 日 (リレー衛星使用)	4/17 ▲ 日 (テルスター衛星使用)
		8/19 ▲ シンコムIII打上げ(静止軌道)	10/10-10/25 ▲ オリンピックテレビ中継実施

図2 東京オリンピック前の衛星の状況

当時の衛星の状況

1957年10月ソ連がスプートニク1号を打上げ、1958年には米国がエクスプローラ1号を打ち上げて以後、宇宙開発は、有人部門、観測部門、通信部門などで急速に開発が進んだ。当時の通信分野の状況を図2に示すが、テルスター衛星、リレー衛星の打上げによってテレビの中継機能を有する衛星が1962年には実験に供されるまでになった。しかし長時間の中継が可能な静止衛星はシンコムI号*¹²がアポジモータ*¹³の点火直後に通信不能となり、その後1963年7月にシンコムII号が同期軌道*¹⁴に打ち上げられたがこの衛星は電話の中継を主体としており、映像の中継にはテルスター、リレー衛星を用いた実験が主体であった。特にリレー衛星による初の日-米間のテレビ伝送では、ケネディ大統領の暗殺のニュースが送られてきて、衛星中継の威力がクローズアップされ、オリンピックの中継計画を推し進める下地となった。しかし使用する衛星はテルスター、リレー衛星では軌道条件から生じる中継可能時間帯に制約が多すぎ、シンコム衛星では衛星の送信機出力が2W、片道の衛

*8 現 総務省
 *9 National Aeronautics and Space Administration, 米国航空宇宙局
 *10 Communication Satellite Corporation, 通信衛星運用会社
 *11 Hughes Aircraft Company, 米国航空宇宙関連製造会社
 *12 シンコム計画は、1961年にNASAが正式に採用した、Hughes社提案のスピン安定形静止通信衛星の計画。
 *13 静止衛星をほぼ静止高度の円軌道にするための小形ロケット。
 *14 軌道高度は静止衛星と同じで(周期24時間)あるが、軌道傾斜角がある衛星。

星・地球局間の伝送距離が約 40,000 km と長く、また衛星中継器の通過帯域も狭いところをテレビの数 MHz の信号を送るといふ難題を解決しなければならなかった。この三衛星の諸元の比較を表 1 に示す。シンコム衛星を用いる計画は、通信衛星の実験を目的として結ばれた NASA と電波研究所のルート*¹⁵ を通じて調整が進められ、静止衛星を用いた中継の可能性を探るため、1964 年 4 月に、NASA、COMSAT、NBC と共同で、同期衛星となっていたシンコム II 号を用いてテレビの中継実験が行われた。画像の評価の結果、画質に対する一応の目安がついたが、更なる改善が必要と判定され、直ちに計画実施の決定に

表 1 テルスター、リレー、シンコム衛星の比較

衛星名		テルスター	リレー	シンコム III
打上げ年月日		1962.7.10	1962.12.13	1964.8.19
軌道	近地点 (km)	954	2,089	42,159
	遠地点 (km)	5,638	7,413	42,176
形状	直径 × 高さ (cm)	86.5	75.9 × 83	71 × 39.4
	形状	(球)	(八角柱)	(円筒)
重量 (kg)		77	78	39 (打上げ時 68)
中継器周波数 (GHz) / 個数	上り	6.4 / 1	1.7 / 3	7.4 / 2
	下り	4.2 / 1	4.2 / 3	1.8 / 3
通信容量 (ch)	双方向電話	12	12	狭帯域 50 kHz 1
	単方向電話	600	300	広帯域 5.4 MHz 1
	テレビ信号	1	1	広帯域 13.5 MHz 1
送信電力 (W)		2	10	2

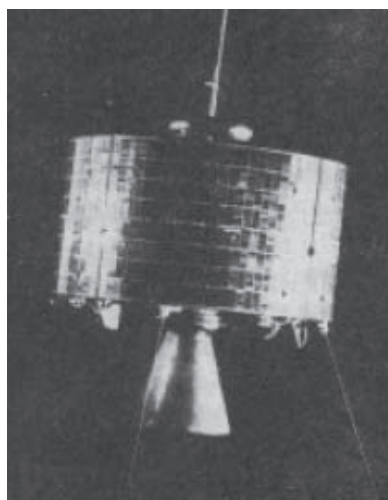


図 3 シンコム III 号衛星 (文献 [1] 掲載写真)

は至らなかった。この実験にはオブザーバとして当時の電波研究所長が招待され、衛星中継実現のために米機関の説得に努力をされた。実験結果より、シンコム III 号衛星を予定し、シンコム II 号は緊急時の予備機とし計画を進めることとなり、NHK を主体として帯域圧縮の開発が急ピッチでなされるとともに、種々の折衝がなされた後 1964 年 7 月、計画の最終決定がなされた。

準備

1. 衛星回線の準備

計画を進めるためにぜひ解決しなければならなかった問題は、先に述べたとおり衛星の SN 比改善であり、この手段としての帯域圧縮法の開発は NHK において、鋭意進められ、

- 正極同期を用いる方法
- ノンリニア・エンファシスを用いる方法
- 飛越しフィールドの方法

の三種とその組合せが検討された*¹⁶。第一の方法は図 4 に示すように標準テレビ信号の同期パルスは絵信号とは反対の負極性であるが、この極性を絵の白信号と同じ極性とし、映像信号の相対振幅比を大きくして SN 比の改善を行うものであり、同期を取りやすいように同期信号に 2 MHz のサブキャリアを挿入してある。

第二の方法は、高い周波数領域のレベル段階を圧縮した、ノンリニア・プリエンファシスを掛ける方法である。第三の方法はビデオ信号の帯域を標準の 1/2 とするものであり、画像の飛越し走査による二つのフィールドの一つを選択して 2 倍の時間で伝送し、受信側では画像を

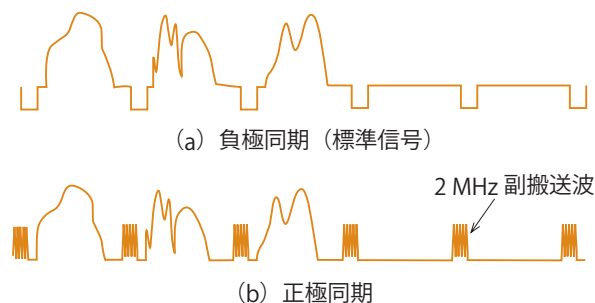


図 4 正極同期信号

*¹⁵ 衛星通信実験の日米間取決めは、1962 年 11 月に米側 NASA、日本側郵政省の間に覚え書の署名がなされ、リレー衛星、シンコム衛星、その後の ATS (Applications Technology Satellites) などの実験に参加が可能となった。

*¹⁶ 詳細は文献 [3] を参照。

録画し2倍の速さで再生し、抜けたフィールドは前後のフィールドから内挿する複雑な手法であった。これらの方法は、広帯域を必要とするカラー映像では無理なので、モノクローム映像に対し、単独、二つの組合せ、あるいは全手法の同時使用が検討され、画質のみならず、機器運用の確実性、信頼性を含めて検討され、最終的にはシンコム衛星が打ち上がった後に、実際に使用される対米回線を用いたテストにより、正極同期方式とノンリニア・エンファシス方式の組合せが使用されることに決定した。

この最終決定はオリンピック開幕直前であり、関係者一同良好な伝送が行われる目安がつき胸をなでおろした。この帯域圧縮装置の受信側の機器は、米国のロスアンゼルス近郊のポイントマグー海軍ミサイルテストセンター基地内のアンテナサイトに設置されて受信信号の標準方式への変換に用いられた。

2. 地上局の準備

衛星中継のためのシンコム III 号に対応した地上局は、衛星が NASA の計画のものであり、表 1 の使用周波数からも明らかのように、テルスター、リレー衛星用に準備された我が国地上局では、これに対応できる局はなく、改造が必要であった。またロケットの打上げ能力がまだ十分でないため、衛星の姿勢制御もスピン安定法を用いておりデスパンアンテナ^{*17}のような高利得アンテナも搭載されておらず、衛星に搭載されたものは、受信用約 2 dB 送信用には約 6 dB の小利得アンテナであり、現在の 30 dB 前後の利得を有する衛星用アンテナとは能力に大きな差があった。この能力差は地上設備が補っていたので、衛星を用いたテレビ画像中継は今日のように車載の装置で行うなどは夢の話であり、大形アンテナ、大電力送信機、冷却装置付き低雑音受信機が衛星通信の三種の神器であった。このような状況の中で地上局として選定された電波研究所の鹿島地上局では、オリンピックが行われた年の 5 月までリレー衛星を用いた実験を行っていたので、準備期間は数か月しかなかった。

図 5 に鹿島局がオリンピック用にどのように設備を変更したかを示す。送信設備は新設するための準備期間が最も長く、間に合うのかどうか心配されたが、シンコム衛星の製造会社である米ヒューズ社と日本電気(株)の間で前年度よりオリンピック中継の技術的可能性の話合いがあり、送信機の高出力クライストロンの発注など

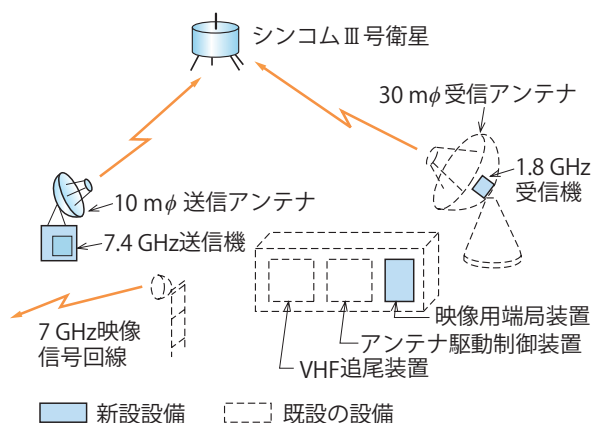


図 5 オリンピック用鹿島局の設備

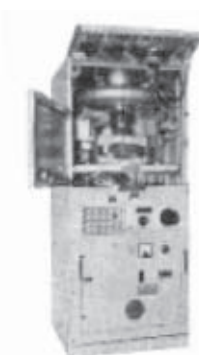


図 6 クライストロン大電力送信機の例 (文献 [13] 掲載写真)

製造に時間がかかるものは民間の自己リスクで準備が進んでいた。図 6 にクライストロン大電力送信機の例を示す。アンテナとして、鹿島局の 30 mφ アンテナ (図 8) はメッシュを用いた鏡面のため 7 GHz では効率の低下が大きいので、送信専用の 10 mφ のアンテナ (図 7) も日本電気(株)が新たに準備した。このアンテナは製造期間の短縮、経費の節減の目的と、静止衛星対応ということで、アンテナの方位角及び仰角を回転するための油圧駆動装置、または電力駆動装置を省いて、ハンドルを人力で回しアンテナを目的方向に回転させる方式とした。また自動追尾装置も省き指向方向は 30 mφ アンテナから送られてくる角度表示に手動で合わせる方法がとられた。このため天頂から水平方向に向けるためには約 1 時間もかかり、夏から秋にかけての設置、調整、その後の運用では、狭い室内に送信機の熱と外壁の鉄板の熱がこもり、駆動を担当する人は上半身裸で作業をしていたので、だれ言うとなく送信設備を「奴隷船」と呼ぶようになった。下り回線モニタ用の 1.8 GHz の受

* 17 衛星本体のスピン回転方向と反回転方向に、指向性のあるアンテナを回転させ指向方向を固定するアンテナ指向制御法。



図7 送信用 10mφアンテナ (NICT 提供)



図8 受信用 30mφアンテナ (NICT 提供)

信機は 30mφ の水平旋回部に設けられた受信機室に置くと、仰角用のロータリージョイントが必要となるので、これも製造、設置の時間節約のため、アンテナの構造体内の背面個室と呼ばれた部屋に、液体窒素冷却のパラメトリック増幅器と受信機ヘッド部が、アンテナが静止衛星を指向したとき最適となる角度に設置された。このパラメトリック増幅器の冷却に用いる液体窒素を毎日補給するのも人力であった。このように設備の準備が急ピッチで進められる中で、待望の衛星は 8 月 19 日 12 時 14 分 (U.T.) に打ち上げられた。衛星の軌道決定には、まだ測距用の新装置 (略称 R & RR 装置^{*18}) もなく 136 MHz テレメトリー用信号のドップラー周波数測定と受信の方位、仰角データを用いて行われていたので、鹿島局は連日追尾作業に携わりながらの局整備に追われ

た。この間に 1.7 GHz の衛星より送られたビーコン信号の受信強度が測定されたが、静止位置到達前は衛星の姿勢の関係から予想値よりかなり低い値を示し、時間変化も大きかったので、少々心細かった。衛星の姿勢が正規になれば予定の受信ができるとは思っていたが、9 月 10 日に衛星がほぼ目標の静止位置の日付変更線上に到達し、スピン軸が軌道面垂直に設定されると、信号強度も上昇し時間変化もなくなり、この心配も杞憂に帰した。13 日から鹿島局を用いた折返し試験が始められ、24 日からは対米伝送予備テストも開始され、10 月 1 日に米側のポイントマゲー局の準備が完了し、早速伝送試験が行われ、先に述べた帯域圧縮の方式の選定が行われた。このときの画像評価は放送関係者を含め実用上申し分なし (Excellent) とのことであり、10 月 10 日の開会式直前の期限ぎりぎりに中継準備が整った。

中継の実施

中継を始めるに当たり心配なことがあった。それは衛星中継の心臓部である 7 GHz 送信機の高出力クライストロンは予備を含めて 2 本用意されていたが、そのうちの 1 本のヒータが断線し、本番は予備の球なしとなってしまった。心細い運用を強いられたが、幸いにもその後は特に問題を生じることなく運用を終了することができた。もう一つの問題は、このクライストロンの高出力 (10 kW) をアンテナに送る導波管が発熱し、このため布を巻いてやかんの水を掛けるという原始的な方法で何とか切り抜けることができた。また中継が始まって 5 日ぐらい後の夜中、送信機用冷却水の配管パイプが破裂し、「奴隷船」が浸水する事態が生じた。中継時間を過ぎていたことと、この日に音声の中継していた海底ケーブルが故障を起こし音声が切れ、短波へ急拠切換えを行うことなどの騒ぎのため、パイプの破裂は影に隠れてしまったが、現場では近くの町の水道屋に夜中修理を依頼して事なきを得た。そのときに「頭の良い人達が何で、こんな工事をするのですかね」と揶揄されてしまうほど、時間の切迫した準備であった。図 9、図 10 に競技期間中に衛星から送られた映像の一コマを示す。この衛星中継に用いられた送信用の 10mφ アンテナはその後、日中国

*18 range and range rate [7].



図9 衛星折返しモニタ映像 (文献[1]掲載写真)



図10 衛星折返しモニタ映像 (文献[2]掲載写真)

交回復の交渉時に中国に渡り平和条約締結のニュースを送るのに活躍したと聞いている。

むすび

多数の関係機関が自発的に参画したこの歴史的な衛星中継は予想以上の成功を取めた。当時はプロジェクトという言葉はまだ用いられていなかったが、時間的、経費的に大きな制約のある中で技術的にも難しいことを、多数の関係機関が協力して実施したこの計画はまさに、一大協同プロジェクトであり、多くの困難を克服できたのは、技術と社会の相互信頼の下、技術日本の再興を期し、関係者の並々ならぬ努力、熱意と素早い決断力、実行力であり、衛星通信史上に残る大きな意義を持つものとなったといえよう。このように技術と社会の好循環が偉大な成果を上げた時代のことを顧み、現在の実情に一抹の寂しさを感じる。

短時間に多数のシステムを混在させざるを得ない応急的大プロジェクトでは、本人自身の記憶でさえ定かでない、記録の必要性が痛感された。終わりに、いろいろ資

料を準備し参照させていただいた方々に、感謝を申し上げますとともに、古い記憶と少ない資料から筆をとったので、記載すべきことの抜け、あるいは間違いなどあればお許し願いたい。

文献

- [1] 尾上通雄, 平井正一, “シンコムⅢ号衛星によるオリンピック東京大会のテレビジョン国際中継,” 電波研季報, vol. 11, no. 52, pp. 1-15, Jan. 1965.
- [2] 下世古幸雄, 村主行康, “シンコムⅢによるTV各種伝送方式のSN比,” 電波研季報, vol. 11, no. 56, pp. 221-229, Sept. 1965.
- [3] 林 宏三, “宇宙中継に用いられた正極同期非直線エンファシス装置,” NHK技報, vol. 8, no. 7, pp. 60, 1965.
- [4] テレビジョン技術史 東京オリンピックの宇宙中継が実施されるまでの思い出, テレビジョン学会, 東京, 1971.
- [5] 電波研究所二十年史, 郵政省電波研究所, 東京, 1975.
- [6] 我が国の宇宙開発のあゆみ, 宇宙開発委員会, 1978.
- [7] 鹿島25年回想録 パラボラと共に, 郵政省通信総合研究所関東支所鹿島宇宙通信センター 回想録編集委員会, 1991.
- [8] K. W. Gatland, Telecommunication Satellites, Prentice-Hall, Inc., Liffe Books Ltd., 1964.
- [9] 遠藤敬二, 泉 武博, 放送衛星の基礎知識, 兼六館, 東京, 1973.
- [10] 黒田隆二 編著, 宇宙と人工衛星, 日本電気文化センター, 1985.
- [11] 宮川岸雄, 東京ッ子半生記, 電波編(下巻), アクセスニッポン社, 東京, 2000.
- [12] 森田正典, 私の技術者人生, NECクリエイティブ, 東京, 1997.
- [13] 川橋 猛, 衛星通信, コロナ社, 東京, 1976.



村主行康

昭21早大・理工・電通卒。昭22通信省電波局入局, 組織替で郵政省電波研究所。周波数標準, 通信方式, 宇宙通信, 情報通信の研究に従事。東京オリンピックの衛星中継時にはNHK放送センターからのテレビ映像を小金井で受け鹿島に中継する部門を担当。現在IEEE-SSIT(技術の社会との関わり)日本チャプターChair。



石澤禎弘

昭32早大・理工・電気通信卒, 同年郵政省入省, 電波研究所勤務, マイクロ波伝搬, 宇宙通信などの研究に従事。昭44宇宙開発事業団勤務, 人工衛星の開発, 宇宙ステーション開発などに従事。平成3年同理事。平成8年(株)エイ・イー・エス社長。平成18年退社。現在に至る。