

デジタル放送の歴史と今後の展望



日本放送協会 放送技術研究所
所長 久保田 啓一

2011年3月11日に発生した東日本大震災で被災された皆様に心からお見舞い申し上げます。一日も早い被災地の復旧を祈念いたします。

放送事業者とわが国産業界が長年にわたって全力を注いできたテレビジョン放送の完全デジタル化もいよいよ大詰めとなった。これまで近未来のこととして語られていたアナログ放送終了・完全デジタル移行の日である今年7月24日まで、本稿執筆時点であと2箇月となった（大震災のため、岩手、宮城、福島では移行が延期された）。このタイミングで、1990年代中ごろ以降の放送デジタル化の大きな流れを振り返り整理することは、将来の放送技術とサービス開発の1つの指針になり得るのではないかと考える。本稿では、衛星放送と地上放送それぞれがデジタル化にいたる経緯について述べるとともに、この貴重な経験に基づいて、放送の将来について考えてみたい。

1. 衛星放送のデジタル化

1.1 デジタル化決定にいたる経緯

衛星放送のデジタル化が決定されたのは、1997年5月の電波監理審議会答申においてである。この答申に至るまでには、次期放送衛星を利用した放送をアナログとするかデジタルとするかの長い論争があった。この論争の1つの側面は、当時MUSE（Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding system）方式で実施されていたハイビジョンアナログ放送を、次期放送衛星BS-4後発機で継続するか、デジタル放送に変換するかについての議論であった。その背景として、米国および英国で地上デジタル放送を1998年に開始することがすでに決定されていたことがある。一方、1994年に実用化試験放送を開始したMUSEハイビジョン放送は当時すでに100万台の受信機が普及していた。MUSE視聴者を保護しながらどのように新しいデジタル放送に移行していくか、放送事業者、特にNHKは、難しい判断を迫られたわけである。

この時期、デジタル放送のための技術は成熟しつつあった。なかでも、放送デジタル化にもっとも影響を与えたのは、映像圧縮に関するMPEG（Motion Picture Experts Group）における標準化の進展であろう。また、MPEGデコーダのためのチップ開発や米国向けのデジタル受信機の開発も、徐々に着手されるという段階であった。このような環境のなか、多くの審議会や研究会で議論が重ねられたが、そのなかで特にインパクトがあったのは、「衛星デジタル放送技術検討会」が1996年12月の報告書で、「2000年ごろには1トランスポンダで2チャン

ネルのデジタルHDTV（High Definition Television）が技術的には可能」と述べたことである。これを受ける形で、冒頭に述べた電波監理審議会答申において、BS-4後発機では2000年を目処（めど）に高精細テレビジョンを中心とするデジタル放送を開始することが決定された。この答申を機に、全放送事業者と産業界が、放送のデジタル化に向けた開発を本格化させたのである。

余談であるが、MUSEの開発にもデジタル放送の開発と導入にもかかわった者としての感想をひと言述べておきたい。それは、新しい技術を実サービスとして導入するには、そのタイミングが大変重要だということである。MUSEの開発があと数年遅ければ、われわれはMUSE放送を始めることはなかっただろうし、あと数年早ければ、また様相も変わっていたかもしれない。新しい技術を実用化するためには、その技術が優れていることはもちろんであるが、技術進歩の大きな流れのなかでその技術がどのような位置を占めるのかを見極めることが重要である。このことは、その後の私の教訓となっている。

1.2 方式開発と標準化

衛星デジタル放送方式の開発と標準化は、電気通信技術審議会と（社）電波産業会（ARIB）において進められた。

国の規格として電気通信技術審議会で定められたのは、情報源符号化方式、多重化方式、伝送路符号化方式である。情報源符号化方式は、映像、音声とも国際標準であるMPEG-2（Motion Picture Experts Group phase 2）が、多重化方式はMPEG-2 Systemsが採用された。先にも述

べたが、MPEGにおける標準化は、わが国だけでなく世界の放送デジタル化に大きな影響を与えた。MPEG方式の開発と標準化がなければ、放送のデジタル化は数年遅れることになったであろう。

一方、伝送路符号化方式は、以下の要求条件を満たすために、わが国固有の方式となった。

- 1つの中継器でハイビジョン2番組を放送可能であること
- 降雨減衰に対応した放送が可能であること
- 1つの中継器に相乗りする複数の放送事業者の独立性が保たれること

最初の要求条件を満足するためには1つの中継器の伝送容量を増加させなければならず、変調方式としてトリス符号化8相PSK (Phase Shift Keying) が採用された。2番目と3番目の要求条件を満足するために採用されたのが、新しい伝送フレーム構成である。このフレーム構成を採用することにより、1つの中継器は48の-slotに分割され、slot単位での放送事業者への割り当てと、それぞれの独立性が保たれることになった。さらに、制御信号によりslot単位で変調方式を変えることも可能になり、これにより、降雨対応放送が可能になった。第1図は、このフレーム構成で可能となった、放送開始当時の中継器の割り当てである。

一方、民間の規格としてARIBで定められたのは、デジタル放送に使用する番組配列情報、BSデジタル放送用受信装置、データ放送符号化方式と伝送方式、限定受信方式などである。

データ放送符号化方式として採用されたのは、BML (Broadcast Markup Language) と呼ばれる方式で、開発時に明らかになっていたXML (Extensible Markup Language) 1.0規格に準拠した言語である。XMLはタグを自由に定義できる点に特徴があるが、BMLはデジタル放送受信機を表示装置として利用することが中心になることから、専用のタグセットやスタイルシート、スクリプト言語が規定されている。さらにBMLでは、リモ

コンでの操作などテレビ受信機特有の機能が新たに追加されている。また、解像度や画面サイズが異なる多様なディスプレイを想定したコンピュータ用途とは異なり、放送用途では制作者が意図する画面イメージが再現されることが求められるため、すべてのブロック要素は大きさと画面上の絶対位置を指定するようになっている。

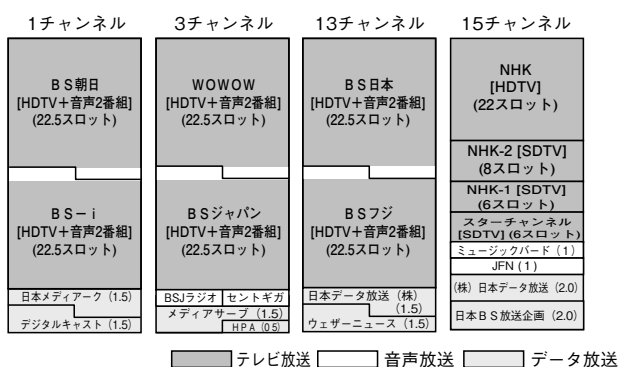
サービスが開始されて10年が経た今、わが国のデータ放送は世界に類を見ない充実したものになっている。インターネットが発展し、スマートテレビが登場し始めた今、このデータ放送を今後どのように進めていくのか、あらためて考える時期が来ているのではないだろうか。

1.3 運用規定の策定とテストセンター

衛星デジタル放送はこれまで述べた規格に従って行われることになったが、規格そのものが幅広い選択肢から成り立っており、すべての機能を盛り込んだ受信機を製造すると、コストの上昇を招くという課題があった。また逆に、規格で規定された機能の一部が盛り込まれていない受信機が製造されると、放送局が送信する信号と受信機との間の相互接続性に問題が発生する可能性も考えられた。そこで行われたのが運用規定の策定である。

運用規定は、受信機製造上のポイントとなる5つの分野について、放送事業者の集まりであるBS-P協議会と受信機メーカーの集まりである(社)日本電子機械工業会 (EIAJ) が話し合いを行い策定したものである。運用規定という名称の趣旨は、策定された規格を放送事業者がいかに関運用するか (あるいは運用制限をかけるか) を明確にして、メーカーはその範囲で受信機を製造するということである。受信機に多くの機能を求める放送事業者と、開発時間やコストからある程度の機能制限を求める受信機メーカーとの話し合いには困難な局面もあったが、よく最後までまとめあげたというのが、当時この仕事を担当していた筆者の感想である。この運用規定は、ARIBの技術資料「BSデジタル放送運用規定」として公開されている。

運用規定の策定を通して、それまでにない重要な技術が1つ規定された。それは、受信機の機能を改善するためにソフトウェアをダウンロードする技術である。ソフトウェアの塊であるデジタル受信機では、ソフトウェアバグを避けることは困難である。受信機の開発スピードを上げるとともに販売されたあともその動作を保証し続けるために、特定の受信機のソフトウェアを、放送波を利用して更新する技術は、デジタル放送にとって必須のものであった。当初、放送事業者や行政はダウンロード技術の重要性を十分には理解していなかったが、最終的にはこのサービスが放送開始と同時に (むしろ先立って試験放送の時から) 実施されたことは、デジタル放送の



第1図 衛星デジタル放送開始当初の中継器割り当て

普及に大きな役割を果たしたと考えている。

運用規定の策定と並行して、放送事業者とメーカーが共同で、「BSデジタル受信機テストセンター協議会」を設立した。当時、受信機開発に必要な試験信号発生器がなかったため、受信機の動作を検証するための標準的なテストストリームを制作することが、テストセンター設立の目的の1つであった。テストストリームは、圧縮された映像・音声信号、データ放送信号、限定受信のための信号などが記録されたCD-ROMで、最終的には120枚となった。国の技術基準、ARIB標準規格、運用規定、そしてテストストリームがそろって、初めて放送局設備から受信機までの全システムの構築が可能になったと言えるだろう。その後、テストセンター協議会が中心に実施した試験放送を経て、2000年12月1日、BSデジタル放送は開始された。

衛星放送のデジタル化は、このようにわが国の産業界が力を結集して実現されたものである。放送方式の開発から標準化、運用規定の策定、テストセンターでのテストと試験電波発射、受信機開発と進む放送デジタル化のプロセスは、地上放送のデジタル化やワンセグの開始など、次の段階のひな形となった。

2. 地上放送のデジタル化

2.1 デジタル化決定にいたる経緯

衛星デジタル放送の準備が進められるのと並行して、地上放送のデジタル化についての検討も進められた。

地上放送デジタル化の検討は、1996年の「放送高度化ビジョン懇談会」の中間報告において、「地上放送は2000年代初頭にデジタル化が波及してくると考えられる」と述べられた辺りが、その出発点になった。その後、1997年に郵政省が設置した「地上デジタル放送懇談会」が、地上デジタル放送の円滑な導入方策について検討を開始した。この懇談会は、1998年、「2003年末までに関東・近畿・中京の3大広域圏、2006年末までにその他の地域で本放送開始を期待」、「アナログ放送の終了時期は、2010年を目安」、「チャンネルプランは、1998年原案作成、1999年策定」との報告書を取りまとめた。この報告書により、わが国の地上放送デジタル化へのさまざまな取り組みが具体的にスタートしたと言ってよい。

2.2 放送方式の策定

放送方式の検討は、電気通信技術審議会とARIBにおいて進められた。方式の設計にあたっていくつかの要求条件が示されたが、ハイビジョンサービスと多チャンネル標準テレビサービスが可能であることに加えて、以下の要求条件を満たすことが日本の地上デジタル放送方式

を特徴づけることになった。

- ・移動体向けサービスが可能であること
- ・周波数有効利用に寄与（SFN: Single Frequency Networkが可能であること）
- ・セグメント構成による周波数の柔軟な利用

規格となった方式は、セグメント化したマルチキャリア（OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing）方式で、セグメント単位で変調方式の選択が可能である。これにより、固定受信サービスと移動受信サービスが、同時に1つのチャンネルの中で行えるという、諸外国のデジタル放送方式にない特長をもつことになった。一方、情報源符号化方式と多重化方式は、衛星デジタル放送と共通のMPEG-2であり、諸外国のデジタル放送とも共通性の高いものになっている。

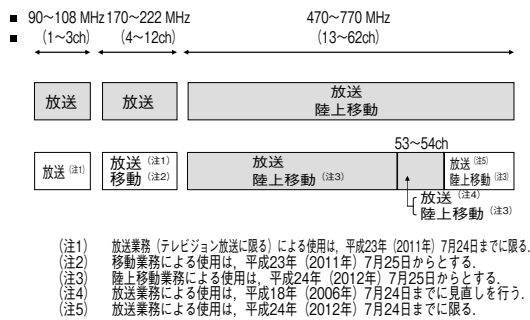
方式開発にあたって衛星デジタル放送のときと大きく異なったことは、最終的な技術基準となるまでに、暫定方式の策定やさまざまな実験が行われたことであろう。ARIBが実施した初期の野外伝送実験を経て、1998年には在京放送事業者を中心に設立された「東京パイロット実験実施協議会」による実験、全国10地区に整備された共同利用施設による実験など、各種実験を経て、放送方式は1999年に策定された。

その後、地上放送事業者が設立した「地上デジタルテレビ放送標準化協議会」と（社）電子情報技術産業協会との協議を通して運用規定を策定、その後受信機テストセンター協議会におけるテストストリームの制作、受信機開発と進んだのは、衛星デジタル放送と同じである。

2.3 チャンネルプランとアナログ周波数変更対策

地上放送のデジタル化にあたっては、衛星放送のデジタル化にはなかった、チャンネルプランやアナログ周波数変更対策といった地上固有の困難な課題があった。チャンネルプランとアナログ周波数変更に伴う対策経費の検討は、1999年に郵政省、民放、NHKの三者検討体制で開始され、2000年7月以降は、三者により設置された「全国地上デジタル放送推進協議会」で検討が継続された。

チャンネルプランについては、2001年7月の電波監理審議会において、周波数割当計画の一部変更が答申され、アナログテレビ放送に割り当てられている放送業務用周波数の使用期限および新たに割り当てが可能となる業務および使用可能となる時期が規定された。その内容が第2図である。アナログ放送時代にはテレビ放送にVHF1チャンネルから12チャンネル、およびUHF13チャンネルから62チャンネルが割り当てられていたが、本答申により、地上デジタル放送では、UHF13チャンネルから54チャンネルということになった。さらに、53チャンネルと54



第2図 周波数割当計画の一部変更

チャンネルについては2006年に見直しが行われ、最終的に地上デジタル放送で使用されるチャンネルはUHF13チャンネルから52チャンネルとなり、使用できる帯域幅はアナログ放送時代の約3分の2になった。

もう1つの困難な課題がアナログ周波数変更対策である。アナログ周波数変更対策とは、周波数利用度の高いわが国において、デジタル放送のためのチャンネルを生み出すために、アナログ放送のチャンネルを変更することである。現在行っている放送を継続しながらチャンネル変更のための作業を進め、あるとき新しいチャンネルに切り替えるという、極めて難しい作業であった。

アナログ周波数変更は、まず、郵政省、民放、NHKの三者による「地上デジタル放送に関する共同検討委員会」において検討が進められ、2000年には、影響世帯数246万世帯、対策経費727億円との積算が出された。これに続き、「全国地上デジタル放送推進協議会」が引き続きアナログ周波数変更対策の詳細検討を開始したところ、上記の積算に含まれない大規模な対策が必要であることが明らかになった。最終的に2001年11月に同協議会が取りまとめた結果、影響世帯数426万世帯、対象局所数801局、対策経費1800億円程度となった。第3図にアナログ周波数変更の概要を示す。

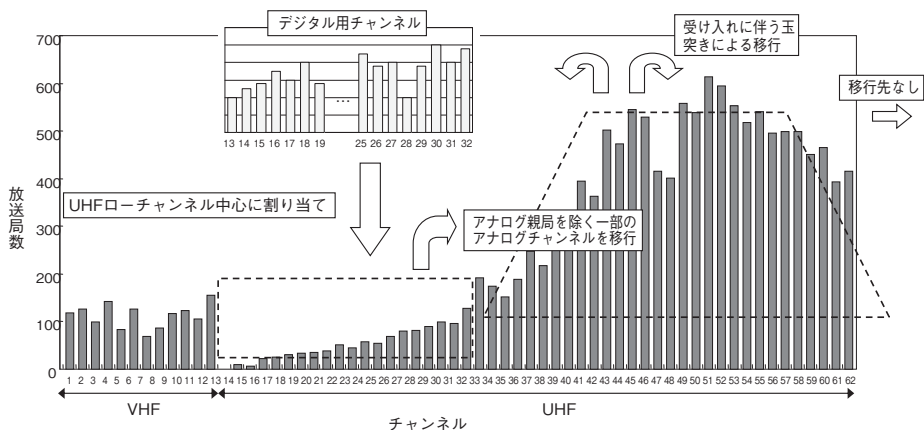
アナログ周波数変更対策は、送信対策と受信対策に分類される。まず送信側でチャンネル変更のための対策を行い (送信対策)、現チャンネルと新チャンネルで並行して送信する間に受信機の設定変更やアンテナ設置工事などを行う (受信対策) という作業であった。送信対策は2002年8月から、受信対策は2003年2月から開始され、チャンネル変更を伴う受信対策は2007年3月に終了した。

2.4 東名阪開局から全国展開、アナログ終了へ

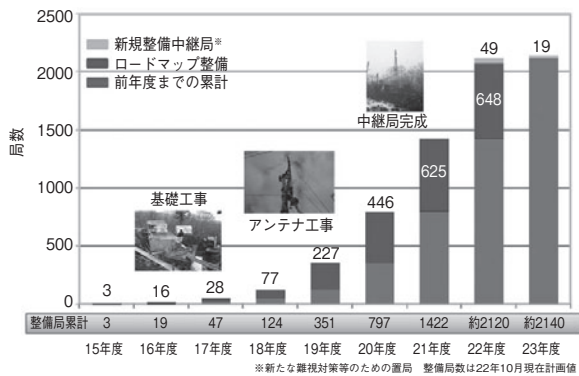
2003年12月1日、東京・名古屋・大阪の親局で地上デジタル放送が開始された。しかし、これは、全国どこでも視聴できる地上アナログ放送をデジタル化するための長い道のりの第一歩であった。

衛星放送では、放送を開始することが、すなわち全国どこでも放送が受信できるようになるということに対し、地上放送では、全国をカバーするために膨大な数の送信所を設置していかなければならない。NHK総合テレビで言えば、現在約3300箇所の送信所でアナログ放送を実施しているのと同程度のエリアをデジタル放送でカバーしないと、アナログ放送が終了できないことになる。

全国地上デジタル放送推進協議会では、全国展開を図るためのチャンネルプラン、すなわち送信所の場所と使用周波数の検討を進め、その結果を2005年12月に地上デジタル推進全国会議より、「デジタル放送推進のための行動計画」および「中継局ロードマップ」として公表した。以来、必要に応じて更新を進め、最終的には総合テレビで2070箇所の送信所により地上デジタル放送の電波を発射することとされた。NHKでは、第4図に示すように、2010年の12月までに、そのすべての送信所から電波を発射し、全国展開に一定の区切りをつけた。アナログテレビ放送が数十年を要して全国あまねくカバーしてきたのに対し、デジタルテレビ放送ではわずか7年で全国展開を完了するという、極めて厳しいスケジュールで



第3図 アナログ周波数変更の概要



第4図 地上デジタル放送中継局整備の推移

あった。

全国展開を進めるなかで、新たな課題も明らかになってきた。すなわち、現在約3300箇所からアナログ放送も並行して実施しており、デジタル放送の電波を発射するには、一部で混信や干渉が発生し、結果として周波数の不足という事態が発生してきた。NHKでも、混信回避や干渉除去技術を開発してこれに対応するとともに、新たに追加の置局も進め、現在約2140箇所から地上デジタル放送の電波を発射している。この結果、全国世帯を母数として、97.9%を電波によりカバー、1.6%を共聴やCATVなどのケーブルで、残りの0.5%については、衛星セーフティネット（衛星デジタル放送を利用した地上波の再送信）によりカバーしている。

一方、受信機の普及についても、薄型テレビの低価格化とともに急速な普及を見せ、総務省の調査によれば、2010年9月時点で世帯普及率が90.3%に達している。アナログ放送終了とデジタル放送への移行に向け、関係者一丸の取り組みが、ようやく実ろうとしている。

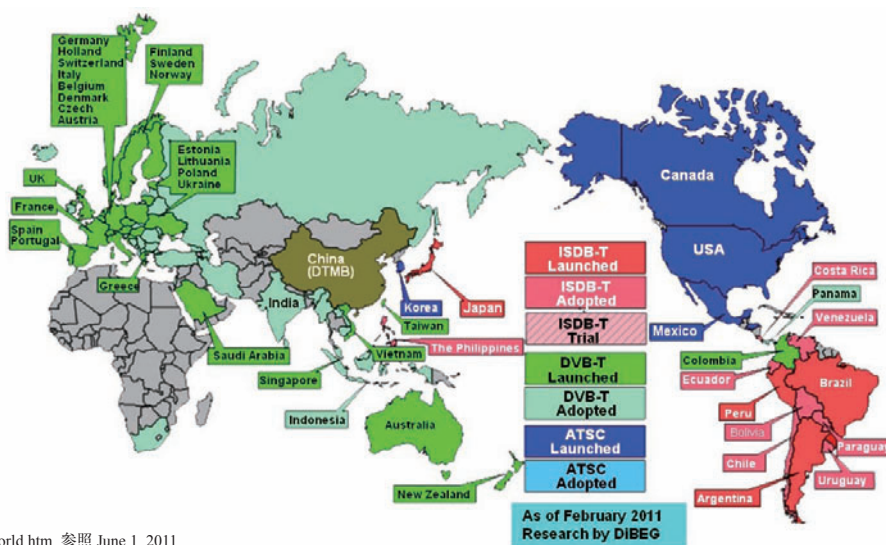
全国すべての家庭に普及していたアナログテレビをすべてデジタルテレビに変える大事業は、周波数の有効活用という国の政策のもと進められてきたが、これがいま完成しようとしている。放送事業者、受信機メーカーなど、わが国の産業界全体が力を結集した成果である。その結論が、あと4箇月で出されることになる。

2.5 日本方式の海外展開

先に述べたとおり、日本の地上デジタルテレビ放送は、ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) と呼ばれ、セグメント化したOFDMを用いることにより、1つのチャンネルで固定受信向けのハイビジョンと、携帯端末や車載受信機でも受信できるワンセグの両方を同時に放送できる特長をもっている。

現在、地上デジタル放送方式は、第5図に示すように、世界的に見て米国を中心としたATSC (Advanced Television Systems Committee) 方式、欧州を中心とするDVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) 方式、中国方式、および日本のISDB-Tの4方式が存在している。南米を中心に、これらの方式の比較を行い、日本方式を採用する国が増えている。これは、ハイビジョンとワンセグの両方を1つの電波でサービスできることとともに、すでに1億台にも達する日本における受信機の普及実績が評価されたものである。放送方式を開発するにあたり、しっかりとした要求条件を整理するとともに、運用規定の策定にあたって、メーカーと放送事業者が多くの議論を重ねた結果が今の評価につながっていると考えられる。

今後、アフリカ諸国など地上デジタル放送方式を決定していない諸国に対して、日本方式のメリットを伝え、



DiBEG Web サイトより
<http://www.dibeg.org/world/world.htm>, 参照 June 1, 2011

第5図 海外の地上デジタル放送方式

すでに世界標準となったハイビジョンとともに日本の放送技術力の高さを示していきたい。

3. 放送の将来に向けて

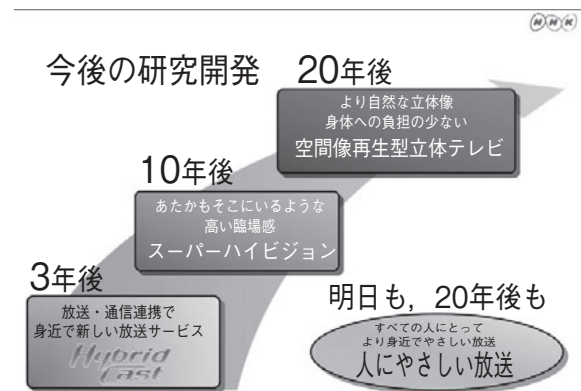
今年7月24日をもってアナログ放送は終了し、放送のデジタル移行が完了する。1953年に放送開始、1960年にカラー化されたアナログテレビ放送は、58年の歴史を経て終了することになる。驚くべきことは（当たり前であるが）、今のアナログテレビ受信機で1953年当時の信号を受信しても正しく受信・表示されるということである。さらに、その映像と現在のアナログ放送の映像を比較すると、同じ枠組みのなかで、いかに進歩してきたかが実感できるだろう。デジタル放送は、これから長期間にわたって実施されることになる。われわれに与えられた責任は、このデジタル放送をいかに成長・成熟させていくかということである。

NHKでは、将来の放送サービスに向けて、第6図に示すような戦略で研究開発を行っている。3年後（実際にはもっと早いだろう）を目指すのは、ハイブリッドキャスト、われわれが考えるスマートテレビである。インターネットに接続されるテレビ受信機については、すでに長年にわたって開発やサービスが行われてきたが、成功を収めたとは言いがたい。しかし、いよいよ技術的環境、またネット環境が整ってきたとの感が強い。デジタル放送の成長・成熟の第一段階が、スマートテレビであろう。すでに今年のCES（Consumer Electronics Show）で多くの社から展示されたが、まだ初期段階である。魅力ある端末とサービスが開発されることを期待したい。

10年後の実現を目指すのは、スーパーハイビジョンである。ここでスーパーハイビジョンの仕様を詳細に述べることはしないが、NHKでは、「最後の2次元テレビ」として研究開発を進めている。ハイビジョンがデジタル放送の基盤となったように、スーパーハイビジョンは次世代の放送の基盤となるものである。また、ハイビジョンが放送以外の産業分野に広く応用されているように、スーパーハイビジョンの応用分野は広い。すそ野の広い要素技術で構成されるスーパーハイビジョンの研究開発を進めることは、わが国の映像文化にインパクトがあるだけでなく、広い産業に影響を及ぼすものと考えられる。

その他、20年後を目指した像再生型立体テレビ、また、今も将来も求める人がいる限り研究開発を進めなければならない、人にやさしい放送技術など、多くの研究課題に取り組まなければならない。

そのとき、ここにまとめた放送のデジタル化の道は、1つの指針になり得るであろう。しかし一方では、そろそろ、方式開発、標準化、運用規定、テストセンター、



第6図 NHKにおける研究開発

受信機開発というプロセスは、もっと時代に適したやり方に変える時期が来ているとも感じる。ハイビジョンは1964年の研究開始からBSデジタル放送での本格的実用化まで36年、デジタル放送も、研究開始から実用化まで二十数年を要している。また、地上デジタル放送は、移行期間だけでも2003年の東名阪での開始から完全移行まで8年を要している。新しい放送サービスの開発と導入は、まさに世代をまたいで進める事業である。新しい時代にふさわしい新しいやり方を模索しながら、放送事業者と産業界、そして多くの関係者が力を合わせて将来に向かっていかなければならない。

《プロフィール》

久保田 啓一（くぼた けいいち）

1976	東京大学工学部卒業、日本放送協会入局
1980-1989	総合技術研究所 新放送方式研究部
1989-1993	アメリカ総局
1996-2001	技術局計画部 担当部長
2001-2005	放送技術研究所 研究企画部長、次長
2005-2006	技術局計画部 統括担当部長
2006-2007	技術局 技術主幹
2007-2008	総合企画室[情報システム] 局長
2008-現在	放送技術研究所 所長

電子通信学会論文賞、SMPTE 論文賞、SMPTE、IEEE フェロー