

テレビにおける映像，音声の進化と最新技術

Evolution and Ongoing Development of Image and Audio Technologies for TVs

伊藤 正之 木村 忠良 山本 敏文

■ ITO Masayuki ■ KIMURA Tadayoshi ■ YAMAMOTO Toshifumi

アナログ放送の時代，ブラウン管式テレビ（TV）はフォーカスが甘く，自然な映像とはかけ離れていた。その後液晶ディスプレイ（LCD）が登場し，SD（Standard Definition）からHD（High Definition）へ画素数も増え，更にデジタル放送が開始されることで映像の精細感は飛躍的に向上した。

東芝は，このような環境下においても“自然な映像”を追求し続け，被写体をより実物に近く復元するために超解像技術を開発した。また，スタイリッシュなデザインの採用で音に対して物理的な制約が大きくなり，良い音を出すのが難しいなか，より良い音声を再現するための補正技術を開発した。60年以上にわたる当社のTV開発の歴史において，大型化と薄型化が求められる昨今，TVの本質である映像・音声技術の更なる開発を進め，常に時代の最先端を行く高画質で高音質のTVの実現を目指している。

In analog broadcasting, there was a conspicuous difference between natural images and images displayed on cathode-ray tube TV sets due to the lack of sharpness. With the changing circumstances of the TV industry including the advent of liquid crystal display (LCD) TVs, the increase in the number of pixels associated with the improvement of resolution from standard-definition (SD) to high-definition (HD) levels, and the introduction of digital broadcasting, image resolution has recently become increasingly sophisticated.

Even in such a highly evolved environment, Toshiba has been uncompromisingly working on the development of image and audio technologies for TVs, super-resolution technologies to restore images to their natural state, and acoustic correction technologies for better sound reproduction under the physical limitations imposed by stylish designs. Accompanying the ongoing dissemination of flat-screen TVs with larger displays, we have been engaged in the development of state-of-the-art technologies aimed at realizing the highest possible resolution and sound quality based on our half century of TV development history.

1 まえがき

わが国では，1953年の白黒TV放送の開始以来，TVは次第に普及の速度を加速させ，“三種の神器”と呼ばれる家庭生活になくてはならない家電製品となった。TVのカラー化の研究も進められ，当初3原色フィルタをブラウン管の前面で高速回転させるフィールド順次式が検討されたが，最終的には白黒TV放送と互換性があるNTSC（National Television System Committee）方式が採用され，1960年にカラーTV本放送が開始された。

東芝は1950年からカラーTVの研究に着手し，1960年のカラー放送開始と同時に，わが国初のカラーTV D21WEをリリースした。

その後，高信頼性，低消費電力，瞬間受像，及び小型・軽量TVの実現に向け，真空管に替えてオールトランジスタ化を目指した開発に着手した。トランジスタ化にあたって，過負荷電流に対する耐性向上，及び温度変化の影響を受けないようにすることが重要なポイントであった。これらの課題を克服し，1970年にオールトランジスタカラーTV 20D3T（図1）を商品化した⁽¹⁾。20D3Tは，その後の映像・音声技術の進化



図1. 20D3T— オールトランジスタ化を実現し，その後の映像・音声技術を半導体で実現していくプラットフォームとなった。
Toshiba 20D3T all transistor color TV set

を，半導体の開発により実現していくためのプラットフォームとなった。

このように，当社は60年以上にわたって，TVの本質である映像と音声の分野でその時代の最先端技術を次々と開発し，他社と差異化を図った革新的なTVを生み出してきた。

表1. 年代別映像・音声技術の推移

Decadal trends in image and audio technologies

| 年代 | 映像技術 | | 音声技術 | |
|------|------------------------------------|---|---------------------------------|---|
| | トレンド | 内容 | トレンド | 内容 |
| 1980 | ブラウン管用アナログICの時代 | <ul style="list-style-type: none"> ・3ライン コムフィルタ ・ディレイライン、アパーチャ補正による輪郭補正 ・黒伸長回路によるコントラスト補正 ・リアルトランジェント回路によるエッジ補正 ・速度変調回路によるフォーカス感改善 | スピーカだけで対応していた時代 | <ul style="list-style-type: none"> ・スリムベゼルなコンパクトキャビネットへ移行（スピーカ位置は画面周囲からブラウン管両サイド後方へ移動） →スピーカの性能開発に限界 |
| 1990 | ブラウン管用アナログ・デジタルICのハイブリッド時代 | <ul style="list-style-type: none"> ・3次元コムフィルタ ・3次元IP変換 ・3次元ノイズリダクション ・ダブルウインドウ表示 ・スーパーリアルトランジェント回路によるエッジ補正 | 電気的な音声補正を導入 | <ul style="list-style-type: none"> ・デジタル制御可能な音声用デバイスの開発（低音・高音・重低音制御などに限定） |
| 2000 | 固定画素ディスプレイ（LCDなど）用オールデジタル高画質LSIの開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ヒストグラム検出によるシーン適応型高画質処理（ファームウェア制御） ・高ビット精度信号処理 ・再構成型超解像処理 ・倍速補間処理をはじめとするフレーム間動き予測 | 音声アナログ処理からデジタル処理、そしてフルデジタル処理に移行 | <ul style="list-style-type: none"> ・デジタル放送の音声系を信号受信からスピーカ出力までフルデジタル処理 ・AVアンプで使用されるDSPによる高レートフルデジタル処理で高音質化（55X1） |
| 2010 | 4K TV用画像復元技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・複数フレーム超解像 ・自己合同性超解像 ・カラーテクスチャ復元 ・微細テクスチャ復元 ・輝き復元 ・広色域復元 ・ハイダイナミックレンジ復元 | フルデジタル処理の更なる進化 | <ul style="list-style-type: none"> ・東芝独自技術により、幅広い音源に対してロバストで安定した補正効果を実現 |

2 開発技術の変遷

アナログ放送からデジタル放送への移行に合わせるように、表示部も当初のブラウン管から薄型のLCDへとTVは大きく変貌を遂げてきた。オールトランジスタ化を経て現在の映像エンジンに至るまで、半導体技術はTVの進化を支えてきた。1980年代から現在に至るまでの映像・音声技術の開発推移を以下に述べる（表1）。

1980年代は映像ではブラウン管とアナログICによる信号処理向けに輝度信号（Y）と色信号（Cb, Cr）を正確に分離するための3ライン コムフィルタなどを、音声ではまだスピーカでの対応が主で、コンパクト化に伴う重低音改善のためのシステムを開発した。1990年代には、映像ではアナログ・デジタルICによるハイブリッド処理の時代となり、ちらつきを改善する3次元IP（Interlace to Progressive）変換や、ノイズリダクション、業界初となるデジタルダブルウインドウ表示機能（1994年）などを開発し、音声ではデジタル制御可能なデバイスによる電気的な補正が開始された。2000年代には、映像ではオールデジタル処理の高画質LSIを搭載したTVの全盛時代に入り、その演算能力を生かした超解像技術を、音声でもDSP（Digital Signal Processor）によるデジタル処理技術を搭載した高音質モデルを開発した。2010年代に入ると更なる大画面化と高画質化が進み、映像では4K（3,840×2,160画素）解像度向けの復元技術を、音声では当社独自の音声補正技術に磨きをかけた。

3 進化する映像・音声技術

3.1 高画質化技術の進化

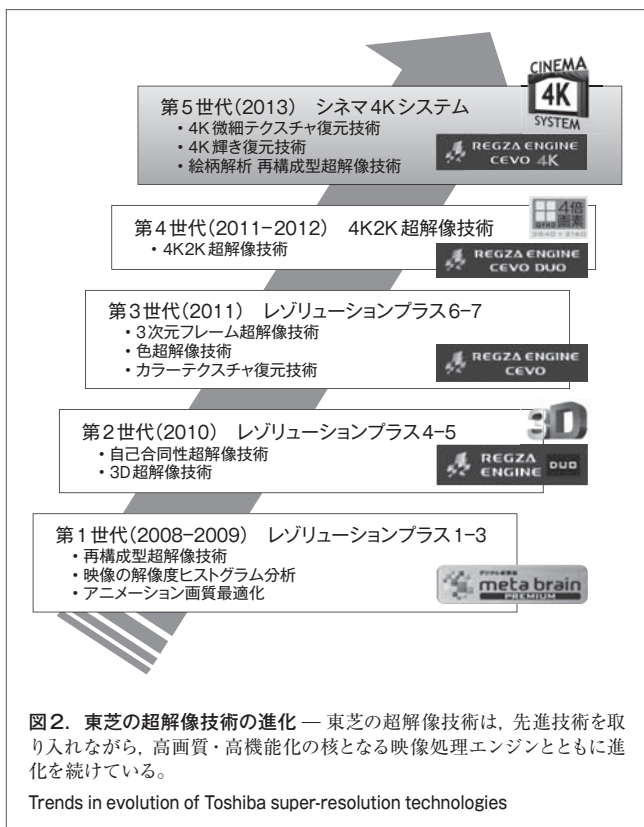
2003年に一部の地域で始まった地上デジタル放送は、2006年

には全国に広がり、映像の分野に本格的なデジタルTVの時代が到来した。デジタルTVの普及はそのままHD映像の普及につながり、多くの視聴者がその映像の美しさに感動した。当社は、SD解像度がHD解像度になったときの感動を提供し続けたいと考え、TVの中核となる高画質化技術の開発に取り組んでいる。

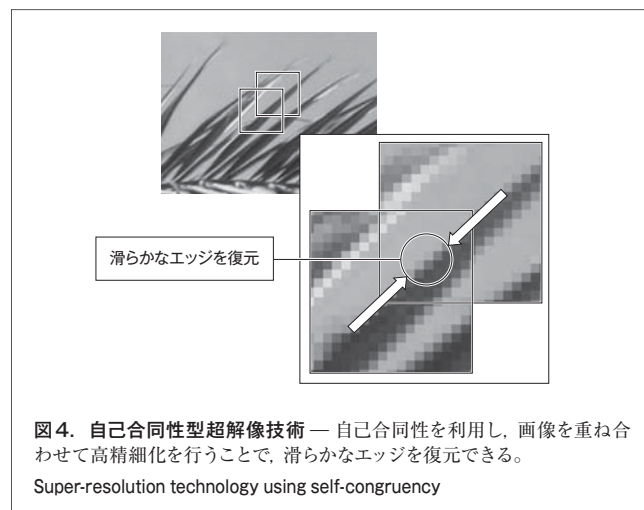
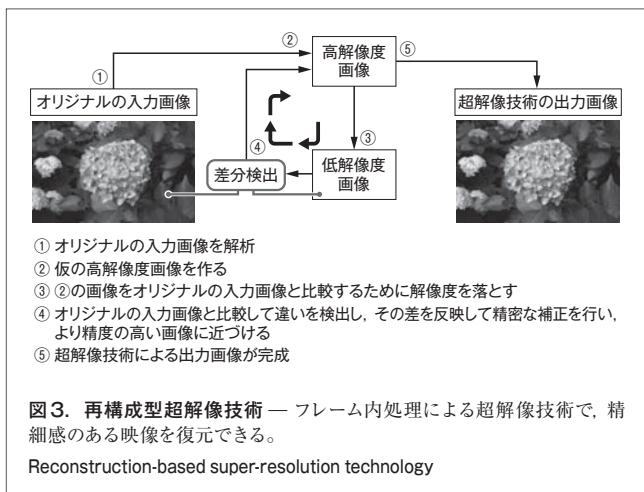
当社の考える高画質とは、いかに実物を見ている感覚に近づけるか、すなわち原画復元を理想としている。TVに表示される映像は、カメラによる撮影やデジタルデータ化の過程で、被写体が持つ様々な情報が劣化したり、失われたりしている。これらの情報を復元することで、より自然な実物に近い映像表現が可能になると考える。

この“復元”というテーマを実現するために開発したのが、解像感を復元し高精細化する超解像技術である。当社の超解像技術は、先進技術を取り入れながら現在も進化を続けており（図2）、技術の特長を進化の過程とともに次に述べる。

3.1.1 第1世代—再構成型超解像技術 当社は、2008年秋に世界で初めて超解像技術を搭載した民生用LCD TV（レガザ）Z7000シリーズを商品化した。当時はまだSD解像度のコンテンツが多く存在していたことや、地上デジタル放送の解像度（1,440×1,080画素）がフルHD（1,920×1,080画素）に満たないことから、アップスケーリング技術が課題となっていた。映像はアップスケーリングを行うと解像感が失われてぼやけてしまう。そこで当社が目にしたのが、解像感を復元する超解像技術であった。超解像という技術は以前から存在していたものの、非常に処理が複雑なことから、特殊な分野に用途が限られていた。それをリアルタイム性の要求されるテレビに採用するために、新たにフレーム内処理による超解像技術を開発し映像エンジン“メタブレイン・プレミアム”に搭載した。



これが、“再構成型”と呼ばれる超解像技術である(図3)。
 まず従来技術のスケーリングによりオリジナルの入力画像を引き伸ばして、仮のフルHD画像を作成する。この画像を入力画像の画素数にいったんダウンコンバートし、入力画像と比較することで劣化を推定して精密な補正を行い、本来のフルHD画像に近づくように復元する。超解像処理を施すことで、細部の精細感が増し、緻密で立体感のある高画質画像を再現できる。
 再構成型の超解像技術により、映像のアップスケーリング時のぼやけを改善し、高精細な映像を復元することに成功した。

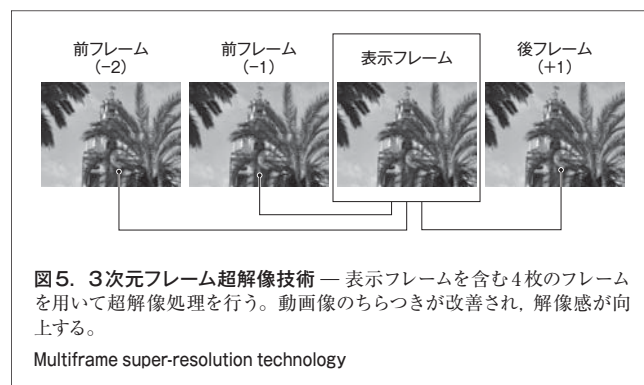


3.1.2 第2世代—自己合同性超解像技術 次に取り組んだのが、滑らかなエッジの復元である。例えば流線型の輪郭を成す滑らかな線は、画素と画素とのつながりによって表現されるものであり、いくらエッジのぼやけを改善しても再現できない。そこで当社は、エッジ部の映像復元の際に“自己合同性”という特徴を利用する、新たな超解像技術を開発した(図4)。

ここでは、エッジ部の周囲から映像信号が近似した箇所を検出し、その画像を重ね合わせることで高精細化を行う。これにより、本来の自然なエッジを復元することが可能になった。この技術を搭載した〈レグザ〉Z1シリーズを2010年春に商品化した。

3.1.3 第3世代—3次元フレーム超解像技術 第2世代までの超解像技術は、1枚のフレームの中だけで処理を行うフレーム内方式であった。当社は更なる高画質化を目指し、複数のフレームを利用する3次元フレーム超解像技術を開発した⁽²⁾。

動画の場合、同じ被写体でもフレーム間で微妙に異なったサンプリング位置のデータを持っている。この特性を利用し、現在のフレームにはない情報を隣接するフレーム(参照フレーム)から補うことで、より高精度に画素を復元できる(図5)。



表示フレームの各画素と同じ絵柄部分を参照フレーム全てから探し出すという高度な技術により、被写体の精細感が復元され、ちらつきも改善される。これを実現する映像エンジンとして、デュアルコアプロセッサを使用し演算処理を高速化した“レグザエンジンCEVO”を開発した。この技術を搭載した〈レグザ〉Z2シリーズを2011年春に商品化した。

3.1.4 第4世代—4K2K超解像技術 TVの大画面化が進むにつれて、映像処理だけでは解決できない新たな問題が浮上してきた。50型を超える画面サイズでは、フルHDの解像度を持つ映像でも画素の粒が目だってしまうのである。画素の粒を感じると実物感が損なわれ、視聴者は表示される映像を粗く感じてしまう。当社の求める高画質を追求するうえで大きな支障となることから、この問題を打破するために、フルHDの4倍の画素数を持つ4K解像度(3,840×2,160画素)のパネルをTVに採用するという、新たな挑戦が始まった。

4K解像度で超解像処理を実行することは容易なことではなかった。それを可能にしたのが、圧倒的な処理能力を持つ映像エンジン“レグザエンジンCEVO Duo”である。4Kパネルに対応した映像描写力を手に入れた〈レグザ〉は新たな映像美の領域へと踏み出し、2011年12月にはその第1世代となる4K TV〈レグザ〉55X3を商品化した。

3.1.5 第5世代—シネマ4Kシステム 当社は、4K解像度による高画質化に大きな可能性を確信し、4K解像度の持つポテンシャルを最大限に引き出すため、これまでの超解像技術に加え、新たに“4K微細テクスチャ復元技術”、“4K輝き復元技術”、及び“絵柄解析 再構成型超解像技術”の三つの高画質化技術を開発した⁽³⁾。4K微細テクスチャ復元技術は、画像をテクスチャ部、エッジ部、及び平坦部に分け、それぞれに最適な処理を施し、4Kパネルにふさわしい精細感を復元する。4K輝き復元技術は、画像を光沢部分と物体色成分に分離し、光沢成分を制御して再合成することで輝き感を復元する。絵柄解析 再構成型超解像技術は、絵柄を解析し、画像の部分ごとに最適な処理を行うことで、画面全体の精細感を向上させる。

これらの技術を採用した映像エンジン“レグザエンジンCEVO 4K”を搭載した、第2世代の4K TV〈レグザ〉Z8Xシリーズを、2013年春に商品化した(図6)。

超解像技術や4K解像度は、今や大画面TVのトレンドとなっている。当社は、まさにその先駆けとして、究極の画質を追い求め、常に新たな映像技術の開発に今後も挑戦し続けていく。

3.2 最新の高音質化技術

2章で述べたように、当初はスピーカーだけで対応していたTVの音声技術も、デジタル放送への移行と薄型TVの普及、並びにそれを支える半導体技術の進化とともに、高音質化に向けた技術開発が行われている。近年の薄型TVでは、図6



図6. 4K大画面TV〈レグザ〉Z8Xシリーズ—第2世代の4K大画面TVで、84V型、65V型、及び58V型の3機種をラインアップした。
REGZA Z8X series 4K ultra-high definition (Ultra HD) LCD TV

のようなナローベゼルを採用し、スピーカもTV正面からは見えない位置に配置するインビジブルスピーカとすることで、映像コンテンツに集中できるデザインが好まれている。このような制約から、本来の音声を再生することが難しくなっており、イコライザを使った音質の補正や改善が必要になる。デジタル技術の普及に伴い、音質補正イコライザはDSPで実現されることが多くなっている。

当社は、独自の音響測定・解析手法を適用した高品位音声補正技術“レグザ サウンド イコライザ”を開発し、2012年秋に〈レグザ〉Z7及びJ7シリーズに搭載した⁽⁴⁾。レグザ サウンド イコライザは、3次元音響測定や、理想インパルス再現技術、時間軸解析技術、音像補正技術などによりインビジブルスピーカとは思えない高品位な音の再生を実現した。

更に独自構成のFIR (Finite Impulse Response) フィルタを採用して補正性能を向上させた“レグザ サウンド イコライザ プロ”を開発し、〈レグザ〉Z8及びJ8シリーズに搭載した。イコライザの補正性能の評価では、補正したい周波数に対してどれだけ近い周波数を制御できるかという周波数分解能/周波数で表される比が一つの指標になり、この値が小さいほど補正性能が優れている。開発した技術では、低音域の補正性能を大幅に向上させたことにより、レグザ サウンド イコライザの補正特性をより高精度に再現できるようになり、いっそうの高音質化を実現している。

一般にFIRフィルタは、フィルタ係数の時間長の逆数に相当する周波数分解能を単位とした、等間隔の周波数ごとに制御することができるが、周波数分解能/周波数の観点で見ると、低音域では高音域に比べて相対的に制御間隔が粗くなる。一方、高音域では必要以上に制御間隔が密になる。例えば周波数分解能が200 Hzのとき、400 Hz近傍では200 Hz、400 Hz、及び600 Hzが制御できるが、200～400 Hzの1オクターブ(oct)区間は制御できない。一方4,000 Hz近傍では、周波数分解能/周波数の比は0.05と十分に細かい制御が可能である。

そこで、限られた演算処理量の中で低音域側の分解能を向上させるため、帯域分割を行い、低音域側はサンプリングレートを下げてフィルタリング処理を行うようにした。これにより、少ない演算量で長い時間長のフィルタ処理を行うことができ、低音域の周波数分解能／周波数を向上させることができる(図7)。

図7では、周波数分解能／周波数の目安としてプロ用機材である31バンドグラフィックイコライザの性能に相当する1/3 oct(約0.26)のラインと半音の1/12 oct(約0.06)のラインを示したが、従来は900 Hz以下で1/12 octのラインを超えているが、開発した技術では、約130 Hz以上の全周波数範囲で十分な周波数分解能／周波数が得られるように演算量と性能の

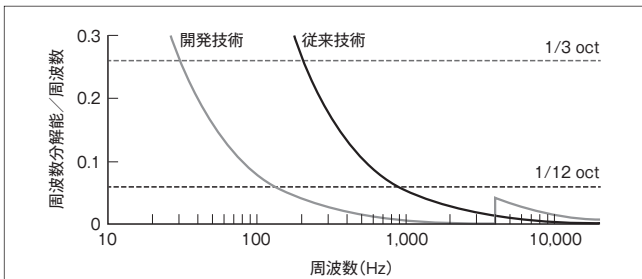


図7. 周波数分解能／周波数の比較 — レグザ サウンド イコライザ プロでは、約30 Hz以上の周波数範囲で1/3 oct以下の、約130 Hz以上の周波数範囲で1/12 oct以下の周波数分解能／周波数が得られている。

Ratios of frequency resolution to frequency of conventional and newly developed technologies for equalizers

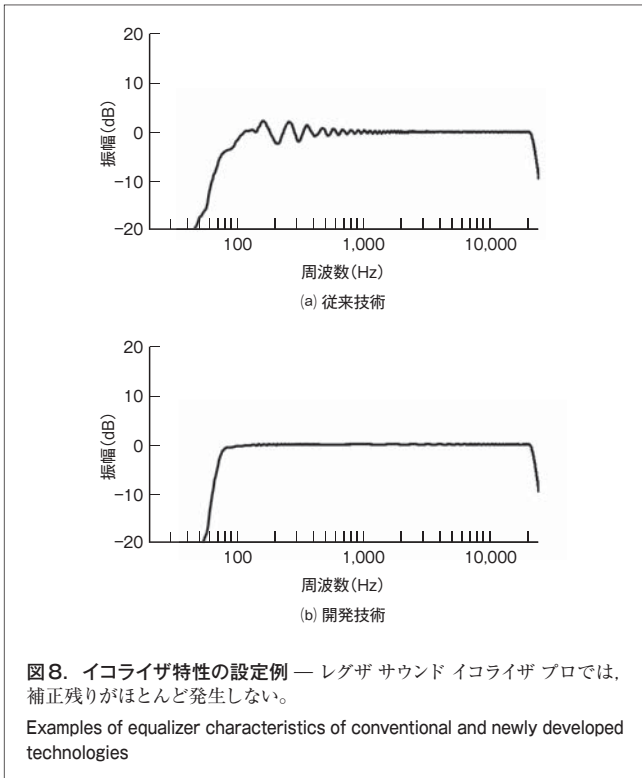


図8. イコライザ特性の設定例 — レグザ サウンド イコライザ プロでは、補正残りがほとんど発生しない。

Examples of equalizer characteristics of conventional and newly developed technologies

配分を行った。

低音域の周波数分解能／周波数を改善したことで、従来は補正残りが発生していたようなケースにおいても補正残りがほとんどなく目標特性を緻密に再現できている(図8)。これにより、新技術を用いることで、幅広い音源に対してロバストで安定した補正効果が得られるようになり、プロオーディオをしのぐ高分解能をTVで実現することができた。

今後は、レグザ サウンド イコライザ及びレグザ サウンド イコライザ プロの搭載機種を拡大していく。

4 あとがき

1970年に商品化されたオールトランジスタカラーTVは、その後の映像・音声技術の進化を、半導体により実現していくためのプラットフォームになった。その後の技術の変遷と最新技術について述べたが、映像や音声については、良い、悪いではなく、視聴者にとってそれが好きか、嫌いかの主観の世界であり、ここまでというゴールはない。

今後TVの解像度が4K、そして近い将来8K(7,680×4,320画素)へと移行し映像の精細感が更に向上していく状況のなかでも、いっそうの高画質化及び高音質化を目指して開発を行っていく。

文 献

- (1) 西塚俊男 他. オールトランジスタ カラーテレビ. 東芝レビュー. 25, 12, 1970. p.1572 - 1579.
- (2) 木村忠良. 動画を高精細化する複数フレーム超解像技術. 東芝レビュー. 66, 9, 2011, p.62 - 63.
- (3) 綿貫正法. 大画面と高画質を両立した4Kテレビ(レグザ)Z8Xシリーズ. 東芝レビュー. 68, 11, 2013, p.48 - 51.
- (4) 山本敏文. 液晶テレビ用スピーカの音質補正技術. 東芝レビュー. 68, 5, 2013, p.56 - 57.



伊藤 正之 ITO Masayuki

デジタルプロダクツ&サービス社 統括技師長付。
国内及び海外向けTVの開発に従事。
Digital Products & Services Co.



木村 忠良 KIMURA Tadayoshi

デジタルプロダクツ&サービス社 プラットフォーム&ソリューション開発センター オーディオ&ビジュアル技術開発部主務。
高画質化技術、特に超解像技術の開発に従事。
Platform & Solution Development Center



山本 敏文 YAMAMOTO Toshifumi

デジタルプロダクツ&サービス社 プラットフォーム&ソリューション開発センター エンベデッドソフトウェア技術開発部。
音響信号処理技術の開発に従事。
Platform & Solution Development Center