

フルHD 3Dを実現するBlu-ray 3D™規格

Blu-ray 3D™ Technology for Full HD 3D

小川 智輝
Tomoki Ogawa

澤田 泰治
Taiji Sawada

金丸 智一
Tomokazu Kanamaru

タオ チェン
Tao Chen

要 旨

筆者らは、映画館と同等の体験を家庭でも可能とすべく、映画館における3D表示と同じく、フレームシーケンシャル方式による両眼フルHD (High Definition) 映像の再生を可能とする3D方式を提案し、Blu-ray Disc AssociationでのBlu-ray 3D™の規格化を主導した。このBlu-ray 3D™規格化では、MPEG-4 AVC画像圧縮技術を基に右目/左目映像間の類似性を利用して更に圧縮効率を高めたMPEG-4 MVC (Multiview Video Coding) 画像圧縮技術、3Dディスクから3Dプレーヤーでは両眼フルHDの3D映像再生を、従来の2Dプレーヤーでは2D互換再生を可能とするストリーム配置技術、字幕やメニューを3Dビデオに応じた奥行きに設定できるプレーンオフセット技術の3つの特徴技術を提案、導入した。

Abstract

The Blu-ray 3D™ specification has been developed by the Blu-ray Disc Association. The specification is composed of three essential parts. First, the MPEG-4 MVC (Multiview Video Coding) technology exploits the correlation between the left-eye and right-eye images to achieve better compression efficiency for stereoscopic video encoding. Secondly, the stream allocation technology ensures backward compatibility for legacy BD players. From a single 3D disc, it is made possible for a 2D player to play back high-quality 2D video, while a 3D player can play back high-quality 3D video. Thirdly, the offset metadata technology enables 3D subtitles or 3D menu graphics with appropriate parallax settings to be overlaid on top of the 3D video to render visually pleasant 3D effects.

1. はじめに

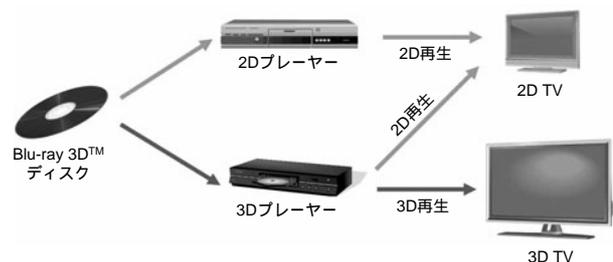
近年3D映画が急速に普及しており、特に米国では5000を超えるスクリーンが既に3Dに対応している。また、今後も継続的に3D映画が製作される予定である。当社は、ハリウッドに拠点を置くパナソニックハリウッド研究所を通じて映画スタジオとの協業を開始し、家庭でも高品位な3D映画を楽しめる環境を構築することを目指して、Blu-ray Disc™(注)の3D技術を検討・提案し、Blu-ray 3D™(注)の規格化を推進した。

Blu-ray 3D™規格化にあたり、従来規格(2D)でもその設計理念としていた「Theater Experience to the Home (映画館での体験を家庭に)」を3Dにおいても実現するために、映画館で採用しているステレオ方式(左目用のフルHD映像と右目用のフルHD映像を記録し、左右の目に対応した映像を届ける方式)を提唱、他社の同意を得た。

当社では、ステレオ方式をBlu-ray Disc™規格へ導入し、3D市場を立ち上げるには、以下の2つの要件が必須であると認識し、技術開発に取り組んだ。

第1の要件は、Blu-ray Disc™規格として2D映像で実現してきた高画質を、3D映像でも実現することである。

第2の要件は、3Dディスクおよび3Dプレーヤーの普及を促すと同時に、既に2Dプレーヤーを保有するユーザーでも、3Dディスクを2D再生できる互換性を実現することである(第1図)。



第1図 3Dディスクの2Dプレーヤー、3Dプレーヤーでの互換再生

Fig. 1 Backward compatibility with 2D/3D compatible disc, BD-ROM player and TV

本論文では、2章で第1の要件を満たすために導入したMPEG-4 MVC技術について、3章および4章で第2の要件を満たすために開発したストリーム配置技術およびプレーンオフセット技術について述べる。

2. 3D用ビデオ圧縮技術および多重化技術

本章では、3D化に伴うビデオストリームおよび多重化に関する課題および解決策に関して説明する。

(注) Blu-ray Disc, Blu-ray 3D は、ブルーレイディスクアソシエーションの商標

2.1 ビデオを3D化する際の課題

Blu-ray Disc™規格の2Dでは、最大40 Mbit/sのビデオストリームが、オーディオストリーム、字幕ストリーム、メニューストリームなどと多重化され、最大48 Mbit/sの1本のTS (Transport Stream) としてディスク上に記録される。

ステレオ方式の3Dにおいて、2Dビデオと同等の画質を3Dビデオにおいても実現する方法として、2Dと同じビットレート (40 Mbit/s) を用いて左目用のビデオストリームと、右目用のビデオストリームを独立して圧縮する方法がある。しかしながら、この方法では合計ビットレートの最大が80 Mbit/sとなり、50 GBのディスクに1.5時間程度しか記録できない課題がある (課題1)。

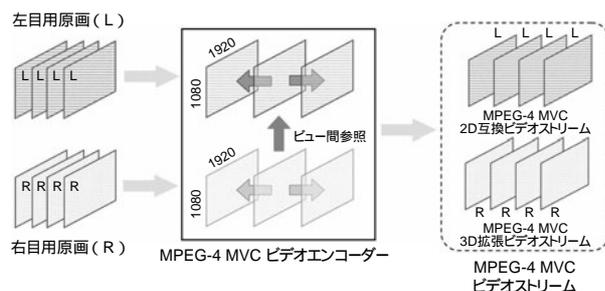
また、3Dディスクが2Dプレーヤーで再生可能であることを保障するために、左右の目に対応した2本のビデオストリームのどちらかは2D再生の際に使用される。このとき、2D再生で使用されるビデオストリームは、前述の48 Mbit/sの制限を守ったTSに多重化される必要があるため、同じTSに2D再生で使用されないもう片方の目に対応したビデオストリームを記録することはビットレートの制約から困難である (課題2)。

2.2 MPEG-4 MVCの導入

前述の課題1を解決し、2時間以上の3D映画をディスクに記録するために、より高効率なビデオの圧縮技術としてMPEG-4 MVCを導入した。

MPEG-4 MVCでは、第2図に示すように、左目用原画 (L) と右目用原画 (R) はMPEG-4 MVCビデオエンコーダーへ入力され、2D互換ビデオストリームと、3D拡張ビデオストリームから成る1本のMPEG-4 MVCビデオストリームとして出力される。

ステレオ方式の3Dビデオストリームを圧縮するMPEG-4 MVCにおいては、左目用 (あるいは右目用) の原画は、2D再生のときに再生対象となる2D互換の2D互換ビデオストリームとして、既存のビデオ圧縮技術と同様に時



第2図 MPEG-4 MVCのエンコードフロー

Fig. 2 Encoding flow of MPEG-4 MVC video stream

間軸方向のピクチャのみ参照してエンコードが行われる。これに対して、右目用 (あるいは左目用) の原画は3D拡張ビデオストリームとして、時間軸方向の参照に加えて、左右で対応するピクチャ間の参照 (ビュー間参照) も利用することにより圧縮効率が改善される。

2.3 MPEG-4 MVCによる圧縮効率の評価

MPEG-4 MVCの導入により前述の課題1を解決可能であること、すなわち3Dにおいても2Dと同等の高画質な映像を2時間以上記録できることを実証するために、筆者らが開発したMPEG-4 MVCエンコーダーによって圧縮したさまざまなビットレートのビデオストリームと画質の関係を評価した。

〔1〕評価素材

さまざまな特性の映像を評価するために、異なる動きや色調を有する5種類の映像を用意した (第1表)。

第1表 評価に利用する3D映像の種類

Table 1 3D video content used for evaluation

映像	ビデオフォーマット		映像種別
	解像度	フレームレート	
A	1920 x 1080	23.976 p	実写 / ドラマ
B	1920 x 1080	23.976 p	実写 / ドラマ
C	1280 x 720	59.94 p	実写 / スポーツ
D	1920 x 1080	23.976 p	アニメーション
E	1920 x 1080	23.976 p	アニメーション

〔2〕MPEG-4 MVCのビットレートの設定

3D拡張ビデオに必要なビットレートを評価するために、2D互換ビデオストリームのビットレートは16 Mbit/sに固定し、3D拡張ビデオストリームのビットレートを、2D互換ビデオストリームの16 Mbit/sに対して5%から50%の間で7段階でビットレートを変化させた。

また、ビットレートの違いによる画質への影響を評価するために、左右のそれぞれの映像をMPEG-4 AVCにより16 Mbit/sで独立して圧縮した映像 (比較用100%) と、左右の映像を圧縮しない映像 (非圧縮) も用意した。

〔3〕テスト方法

テストは、画像評価の専門家でない15人の被験者が、5種類の映像ごとに、非圧縮の原画と順不同で再生される各ビットレートで圧縮された5種類の映像を視聴比較し、5 (非常に良い) から1 (非常に悪い) の間で点数をつけ、その平均点を用いるMOS (Mean Opinion Score) 法で実施した。

〔4〕テスト結果

実写の3D映像は、一般に左目用の映像を撮影するカメラと、右目用の映像を撮影するカメラのばらつき (左右

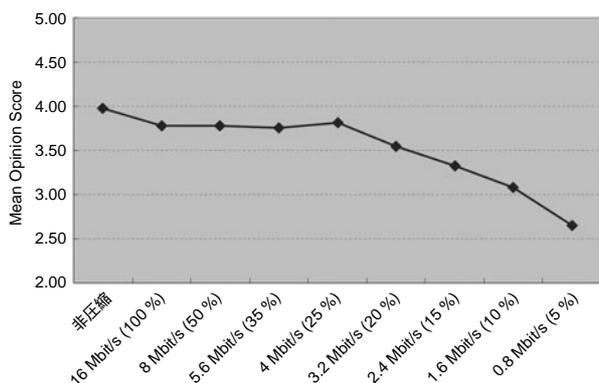
のカメラの光軸，焦点距離などのずれ)により，左右の映像の相関が小さくなるため，2.2節で説明したビュー間参照を用いた圧縮が難しい。

これに対して，CG (Computer Graphics) を用いて作成されるアニメーションによる3D映像では，カメラに起因するばらつきが原理上発生しないため，左右の映像の相関が高く，ビュー間参照を用いた圧縮が容易である。

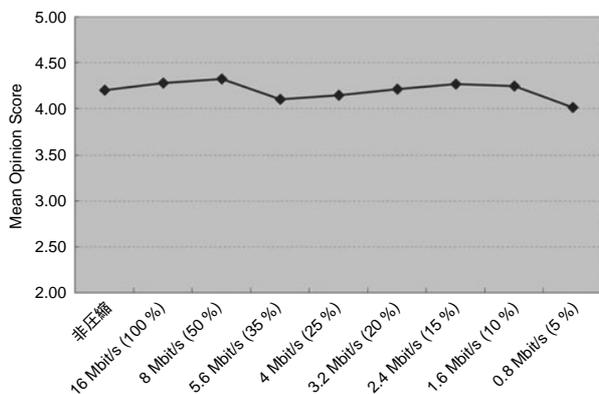
そこで，実写とアニメーションの圧縮の容易さを考慮し，実写映像 (A, B, C) に対するビットレートごとの評価結果の平均点 (第3図)，アニメーション (D, E) に対するビットレートごとの評価結果の平均点 (第4図) を別々に算出して評価を行った。

第3図により，実写映像における評価では，2D互換ビデオストリームに対して，3D拡張ビデオストリームに割り当てるビットレートが20%を切ると評価値が悪くなるのがわかる。

これに対して，第4図で示されるように，アニメーションの場合には，2D互換ビデオストリームに対して10%の



第3図 実写映像に対するビットレートごとの平均点
Fig. 3 Average score for live action video and bit-rate



第4図 アニメーションに対するビットレートごとの平均点
Fig. 4 Average score for animation video and bit-rate

ビットレートしか3D拡張ビデオに割り当てない場合でも，非圧縮映像と同等の評価を得た。

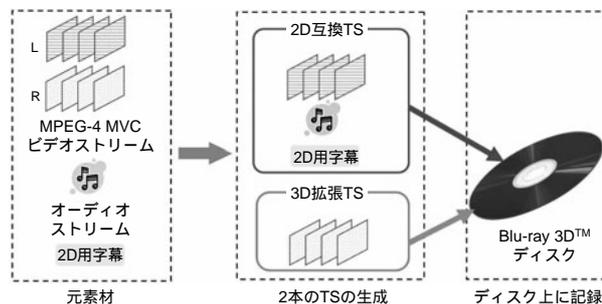
本評価により，MPEG-4 MVCを導入し，2D互換ビデオストリームに割り当てるビットレートに対して，3D拡張ビデオストリームに最大25%程度のビットレートを割り当てることで，左右の映像を独立して圧縮した場合と同等な高画質な3D映像を提供できることを実証した。これは，2D互換ビデオストリームに最大ビットレートである40 Mbit/sを割り当てた場合に，3D拡張ビデオストリームを10 Mbit/s (25%相当) で実現できるため，3D映像は合計50 Mbit/sとなり，50 GBのディスクに2時間以上の記録が可能であることを示している。

2.4 2D/3D互換を実現するためのTS作成方法

次に，前述の課題2を解決するために，既存の2Dプレーヤーとの互換性を保ちつつ，MPEG-4 MVCによるビデオストリームを多重化する方法について説明する。

MPEG-4 MVCビデオストリームは，2D互換ビデオストリームおよび字幕やオーディオストリームを格納する2D互換TSと，3D拡張ビデオストリームを格納する3D拡張TSの2本のTSとして多重化された後，ディスクに記録される (第5図)。

この記録方式により，2D互換TSでは，これまでと同様に2D互換ビデオストリームに最大40 Mbit/sが確保され，2Dプレーヤーとの高い互換性および高画質を保つことが可能とした。また，3D再生時には，2D互換TSと3D拡張TSを同時に再生することにより，高画質な3D再生を実現した。



第5図 3D対応ディスク用MPEG-2 Transport Streamの生成
Fig. 5 Two MPEG-2 Transport Streams for 2D/3D compatible disc

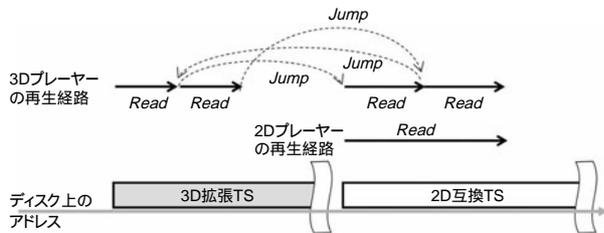
3. ストリーム配置技術

本章では，2章で説明した2D互換TSと3D拡張TSをディスク上に格納するストリーム配置技術について説明する。

3.1 データ配置の課題

3Dディスクから、3Dプレーヤーでは両眼フルHDの3D映像再生を、従来の2Dプレーヤーでは2D互換再生を可能とするには、(1) 2Dプレーヤーは2D互換TSを途切れることなく再生でき、(2) 3Dプレーヤーは2D互換TSと3D拡張TSを同時に途切れることなく再生できることが必要である。

例えば、第6図のように、合計で最大50 GBとなる2D互換TSと3D拡張TSを単純に並べてディスク上に配置すると、3Dプレーヤーが、3D映像を再生する場合には、2D互換TS中のある時刻のデータと、同一時刻の3D拡張TS中のデータを交互に読み出す必要があるため、10 GBを超えるジャンプが頻発することになり、データの読み込みが間に合わない。



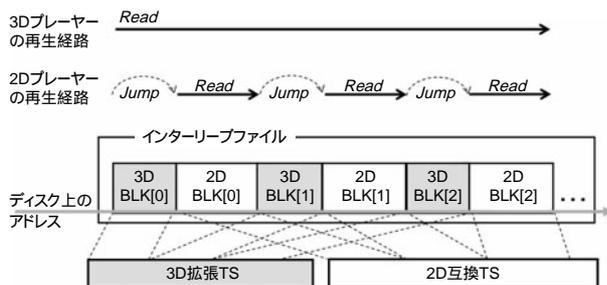
第6図 3D拡張TSと2D互換TSのデータ配置の課題
Fig. 6 Problem for data allocation for 3D extended TS and 2D compatible TS

3.2 2D互換TSと3D拡張TSの交互配置

そこで筆者らは、第7図に示す2D互換TSと3D拡張TSを交互に配置する方式を開発した。

3D拡張TSと2D互換TSは、それぞれ約2、3秒の小さなブロックに分割され、ディスク上に交互に配置される。ディスク上には、3D拡張TSと2D互換TSのファイルとは別に、交互に配置されたすべての領域を指すインターリーブファイルが用意されている。

2Dプレーヤーが3Dディスクを再生する場合には、2D互換TSの再生を行う。2Dプレーヤーは、ドライブから54



第7図 3D拡張TSと2D互換TSのディスク上の交互配置
Fig. 7 Interleaved data allocation of 3D extended TS and 2D compatible TS

Mbit/sのデータ転送速度で2D互換TSを構成するブロックを読み込み、3D拡張TSを構成するブロックをジャンプすることを繰り返しながら2D映像を再生する。2D互換TSの各ブロックのサイズとジャンプ距離である3D拡張TSの各ブロックのサイズを、2Dプレーヤーのドライブのデータ転送性能とシーク性能を満たすように設計することによって、2Dプレーヤーが途切れることなく再生を行うことを可能とした。

一方、3Dプレーヤーが3Dディスクを再生する場合には、インターリーブファイルの再生を行う。3Dプレーヤーは、2Dプレーヤーよりも高速なドライブを使って、72 Mbit/sのデータ転送速度でインターリーブファイル内の2D互換TSと3D拡張TSの各ブロックを連続的に読み出して3D映像を再生する。2D互換TSと3D拡張TSの各ブロックのサイズを、3Dプレーヤーのドライブのデータ転送性能を満たすように設計することによって、3Dプレーヤーが途切れることなく再生を行うことを可能とした。

このデータ配置方式によって3Dプレーヤーによる両眼フルHDの3D映像の再生と、2DプレーヤーによるフルHDの2D映像の再生の両立が可能となった。

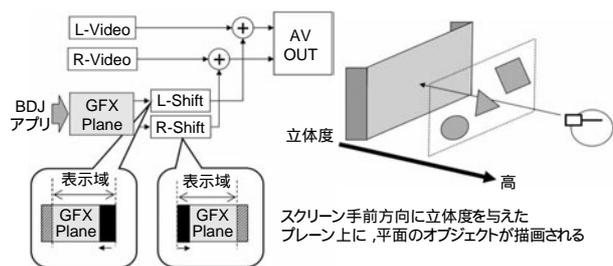
4. 2D用字幕・メニューの3D化

本章では、3Dビデオと字幕・メニューの重畳において生ずる課題、および2D用の字幕・メニューを3D化する拡張方式を説明する。

4.1 字幕・メニューの描画方式と課題

2D/3D互換ディスクを低コストで実現するために、2D再生でビデオに重畳される字幕やメニューを3D表示の際にも流用できることが重要な要件であった。しかしながら、3Dビデオ映像に2Dの字幕やメニューを重畳すると、スクリーンの手前方向に立体度を与えたビデオ映像に対して、字幕やメニューが視聴者から見てビデオ映像の後方に結像するため、字幕やメニューを読むのを困難にさせ、視聴者に強い違和感を与え、3D酔いなどを生じさせるという課題がある。

この課題を解決するには、字幕・メニューにも立体度を与えて表示することが必要である。2D再生時の字幕・メニューのデータを流用しながらこれを実現する規格拡張として1プレーンシフト方式を導入した。1プレーンシフト方式は、描画プレーンを左右にシフトさせて右目用画像と左目用画像を生成し、左右のビデオプレーンと重ね合わせることで、描画プレーンに描かれる対象物を前後に結像させる(第8図)。対象物の立体度は、左右描画プレーンのシフト量を変化させることで調節できる。



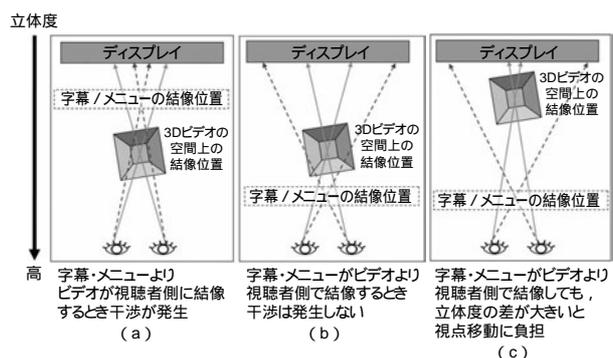
第8図 1プレーンシフト方式による字幕・メニューの描画
Fig. 8 Subtitle and menu presentation by 1 plane shift

3D酔いなどの弊害を回避するために、字幕・メニューの立体度をどのように制御することが適切であるか、3Dビデオとの重畳表示による実験を通じて検証をした。

ビデオ映像が字幕・メニューより高い立体度をもつと、視聴者の視点はビデオ映像に焦点を合わせるため、立体度の低い字幕・メニューを読むのは困難である(第9図(a))。

ビデオ映像よりも字幕・メニューに高い立体度を与え表示させると、視聴者の視点は字幕・メニューに焦点を合わせ、ビデオ映像と共に負担を感じず視聴できる(第9図(b))。

しかし、ビデオ映像の立体度は再生に伴い変化するため、ビデオ映像よりも高い立体度を字幕・メニューに与えていても立体度の差が大きくなり過ぎると、ビデオと字幕・メニューの間で視点の移動が大きくなり、視聴が負担になる(第9図(c))。



第9図 3D Videoと字幕・メニューの干渉
Fig. 9 3D interference between 3D video, subtitle and menu

4.2 字幕・メニューの干渉に対する解決策

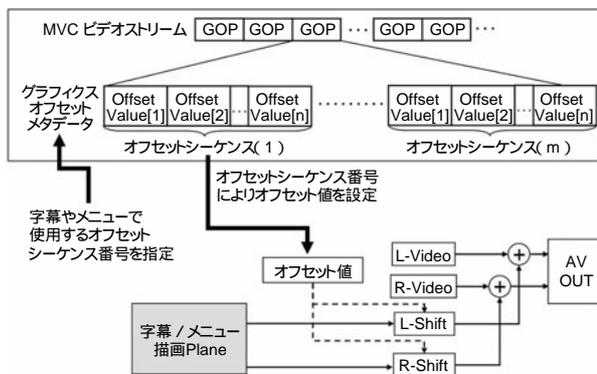
干渉を回避し、視聴時の負担を軽減するには、ビデオと字幕・メニューの視覚的な前後関係を崩さずに、立体度の差を適度な範囲内に保持し続けることが必要である。この条件を再生時に常に成立させるための実現方式として、動的に変化するビデオがもつ立体度に応じて、対応

する字幕・メニュー用プレーンのシフト量を動的に変更するグラフィクスオフセットメタデータ方式を開発した。

オフセット値は、描画プレーンに立体度を与えるために、描画プレーンに適用するシフト量のデータとして定義される。本方式ではMPEG-4 MVCビデオストリームのメタデータとして、各フレームに対応するオフセット値を、GOP (Group Of Pictures) 単位でオフセットシーケンスとして記録する方式を採用した。

Blu-ray Disc™パッケージには、複数の言語に対応するために字幕・メニューが複数種類含まれている。それぞれの字幕・メニューは対応する言語に最適化して表示位置とサイズを調整しており、同一の再生シーンであっても、字幕・メニューの立体度は、言語ごとに個別に定義し制御する必要がある。これを実現するためMPEG-4 MVCビデオストリームにオフセットシーケンスを複数本定義する方式を開発した(第10図)。

本方式により、言語ごとの字幕・メニューの立体度のフレーム精度での制御を可能とし、3Dビデオと字幕・メニューの重畳で生ずる干渉の課題を解決しながら、2D/3D互換ディスクの低コストでの実現を可能とした。



第10図 MPEG-4 MVCで伝送されるオフセットメタデータの構造
Fig. 10 Data structure of offset metadata in MPEG-4 MVC video stream

5. まとめ

Blu-ray 3D™規格に提案、採用されたこれらの技術により、映画館と同等の高品質な3D体験が家庭でも可能となった。ディスプレイとBlu-ray Disc™が一体となって実現するフルHD 3Dシステムにより、今後の3D市場の立ち上がりを牽引(けんいん)していくことが期待される。

また、各国でも機運が高まりつつある3Dデジタル放送や、パーソナルAV機器であるビデオカメラ、スチルカメラ市場へも3Dを波及させることで、Blu-ray 3D™を起点に新たな3D映像文化を広げていく。

参考文献

- 1) White paper Blu-ray Disc™ Read-Only Format 2.B Audio Visual Application Format Specifications for BD-ROM Version 2.4 (2010).
- 2) ITU-T and ISO/IEC JTC 1 : Advanced video coding for generic audiovisual services. ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 (2009).
- 3) T. Chen, et al. : Subjective picture quality evaluation of MVC stereo high profile for full-resolution stereoscopic HD video applications. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 m18541, October 2010, Guangzhou, China.

著者紹介



小川智輝 Tomoki Ogawa
デジタル・ネットワーク開発センター
Digital & Network Technology Development Center



澤田泰治 Taiji Sawada
デジタル・ネットワーク開発センター
Digital & Network Technology Development Center



金丸智一 Tomokazu Kanamaru
プラットフォーム開発センター
Platform Development Center



タオ チェン Tao Chen
パナソニックハリウッド研究所
Panasonic Hollywood Lab.
博士（コンピュータ科学）