

# 平成15年度 研究開発成果報告書

「大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散流通技術の研究開発」

## 目 次

1	研究開発課題の背景	4
2	研究開発分野の現状	5
3	研究開発の全体計画	9
3-1	研究開発課題の概要	9
3-1-1	全体概要	9
3-1-2	個別課題毎の実施内容	10
3-2	研究開発目標	17
3-2-1	最終目標	17
3-2-2	中間目標	19
3-3	研究開発の年度別計画	21
3-4	研究開発体制	22
3-4-1	研究開発管理体制	22
3-4-2	研究開発実施体制	23
4	研究開発の概要（平成15年度まで）	24
4-1	研究開発実施計画	24
4-1-1	研究開発の計画内容	24
4-1-2	研究開発課題実施計画	27
4-2	研究開発の実施内容	28
5	研究開発実施状況（平成15年度）	30
5-1	【課題ア】超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発	30
5-1-1	位置補正、画像合成処理自動化・ひずみ補正処理	30
5-1-1-1	序論	30
5-1-1-2	自動特徴点抽出方式	31
5-1-1-3	合成画像の補正方式	38
5-1-1-4	実験および改良	40
5-1-1-5	まとめ	43
5-1-2	色補正処理	44
5-1-2-1	序論	44
5-1-2-2	撮影時に生成されるデータの発色特性	45
5-1-2-3	保存～配信時におけるカラーの劣化要因の有無	46
5-1-2-4	メタデータとすべき項目の抽出	46
5-1-2-5	出力時における各出力デバイス固有の発色特性	46
5-1-2-6	紙、その他出力メディアによる発色特性	47
5-1-2-7	まとめ	48

5-1-2-8	使用作品	48
5-1-3	質感表現段次元データ生成処理	49
5-1-3-1	序論	49
5-1-3-2	光源位置の変化に伴う物体表面の見え方	49
5-1-3-2-1	Image-Based Rendering による物体表面の生成	50
5-1-3-2-2	IBR による画像生成	52
5-1-3-2-3	質感表現インタフェース	52
5-1-3-3	まとめ	53
5-1-4	コンテンツ収集	54
5-2	【課題イ】ワンソースマルチユース対応	
	コンテンツ蓄積管理技術の研究開発	56
5-2-1	コンテンツの階層的な蓄積方法	56
5-2-1-1	序論	56
5-2-1-2	解像度多重化フォーマットの設計	58
5-2-1-3	輪郭強調拡大・縮小方法の検証	59
5-2-1-4	性能測定・評価	60
5-2-1-5	超高精細コンテンツ専用ビューア	67
5-2-1-6	まとめ	71
5-2-2	分散環境著作権管理方式	72
5-2-2-1	序論	72
5-2-2-2	分散環境システム用モジュールの設計	75
5-2-2-3	著作権管理におけるテーブルセットの定義	77
5-2-2-4	分散システムにおける検索性テーブルセットの定義	80
5-2-2-5	まとめ	82
5-2-3	各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし	83
5-2-3-1	序論	83
5-2-3-2	著作権保護のための電子透かし	83
5-2-3-2-1	従来 방식	83
5-2-3-2-2	検討方式	83
5-2-3-2-3	評価	85
5-2-3-2-4	まとめ	88
5-2-3-2-5	今後の課題	88
5-2-3-3	真正性証明のための電子透かし	89
5-2-3-3-1	序論	89
5-2-3-3-2	アルゴリズムの概要	89
5-2-3-3-3	改ざんに対する性能の評価	90
5-2-3-3-4	電子透かしを保存する JPEG 復号方法の開発	95
5-3	【課題ウ】状況適応型コンテンツ	
	ナビゲーション技術の研究開発	107
5-3-1	ユーザとのインタラクションによる	
	検索ブラウジング精度の高度化・クラスタリング	107
5-3-1-1	序論	107
5-3-1-2	システム構成	107
5-3-1-3	機能仕様	108
5-3-1-3-1	コンテンツサーバプログラム	108

5-3-1-3-1	検索クライアントプログラム	109
5-3-1-3-1	データメンテナンスプログラム	110
5-3-1-4	改善事項	110
5-3-1-4-1	検索結果提示方法	110
5-3-1-4-2	フィードバック機能と再検索	112
5-3-1-3-1	検索クライアントの内部構成	113
5-3-1-5	評価とまとめ	113
5-3-2	コンテンツ主導型ナビゲーション	115
5-3-2-1	序論	115
5-3-2-2	メタデータ情報埋め込み電子透かし	115
5-3-2-3	電子透かし埋め込み・検出ソフトウェア	115
5-3-2-4	まとめ	117
5-4	総括	118

#### 参考資料、参考文献

(添付資料)

#### 1 研究発表、講演、文献等一覧

## 1 研究開発課題の背景

近年、ギガビットネットワーク等の基幹ネットワーク、xDSL等の一般ユーザ向けブロードバンドの整備により、大容量マルチメディアコンテンツに対するアクセス環境が整ってきた。また、デジタルカメラ、液晶パネル、プロジェクタ等の入出力機器に目を向けると、高精細なデジタルコンテンツを扱える機器が出現してきている。

これらのコンテンツ流通を取り巻く環境の変化は、単にマルチメディアコンテンツの閲覧（ブラウジング）が可能であるというレベルから、映画、フィルム、美術品、放送素材等、高精細かつ良質な真に価値のあるコンテンツがデジタル化され、流通、加工等可能な経済リソースとして、利用可能なレベルへと移行しつつある。

このような背景の下、有形・無形の文化遺産、非デジタル媒体上の映画・フィルム・美術品・放送素材等を、経年変化なく後世に残すこと、一般ユーザが手軽にアクセスできるようにすること、さらには、二次・三次利用を視野にコンテンツを提供すること等を目的として、博物館や美術館等のコンテンツホルダーにおけるデジタルアーカイブへの動きが活発になっている。加えて、コンテンツ流通の障害となっている著作権問題を解決するため、電子透かしやセキュリティ管理の開発がさまざまな研究機関においてなされるようになってきている。また、デジタル化の対象は文化財以外にも広がりを見せ、地域特有の情報や報道・広告・エンターテインメント業界が保有する蓄積情報資産を対象にした二次利用ビジネスモデルの立ち上げのためにデジタルアーカイブを構築する動きも出てきた。

官公庁における取り組みも活発になっており、デジタルアーカイブの計画・整備・運用を推進している。政府・IT戦略本部策定のe-Japan計画は、日本の重要IT戦略の一環としてデジタルアーカイブを取り上げている。

## 2 研究開発分野の現状

### (1) デジタルアーカイブの現状

#### ① 政府の取り組み

政府は、e-Japan 計画の中で全国的な教育・産業・文化の振興を目的に、デジタルアーカイブ構築の推進を掲げている。

- ・総務省では、デジタルミュージアム構想を推進し、地域の美術館や博物館等の文化財のデジタル化、蓄積管理・配信閲覧技術の開発支援、及びインフラ整備を行っている。
- ・文部科学省では、教育情報ナショナルセンターへの教育事例コンテンツの登録、児童・生徒向け教育用コンテンツ作成など、教育目的のデジタルアーカイブ整備を推進している。
- ・文化庁では、政府関連施設の文化財情報をインターネットで検索可能とするための「文化財情報システム・美術情報システム」、全国の公私立博物館・美術館を「分散型仮想ミュージアム」化させる「共通索引システム」の整備を推進している。
- ・経済産業省では、「先導的デジタルアーカイブ映像制作支援事業」、「コンテンツ制作基盤技術開発等支援事業」により、高品質コンテンツの制作・配信・流通技術、セキュリティ技術、高画質動画の表現技術などの開発支援を行っている。

#### ② 美術館・博物館等の取り組み

- ・国立西洋美術館では、4,000 点を超える館蔵作品のうち、主要絵画作品 154 点を含む 204 点の館蔵作品を対象に、超高精細画像検索表示システム「デジタルギャラリー」を館内で利用し情報検索が可能である。
- ・東京国立近代美術館では、約 1 万点の収蔵作品のうち約 70%の画像データ化作業が終了している。また、館内での情報検索が可能で、約 5,000 点に関して画像とテキスト情報の閲覧ができる。
- ・2002 年 9 月開館のポーラ美術館では、デジタル画像ファイルのフォーマットとして VZF ファイル形式(Vector Format for Zooming、セラーテムテクノロジー社)を採用し、画像ファイル管理業務の一元化や、カタログなど公開用の各種媒体作成に活用している。
- ・ルーブル美術館内に設置され、EU のデジタルアーカイブ化事業を主導するフランス美術館修復研究センター(C2RMF)では、フランス国内の約 1,200 のミュージアムのみならず、ヨーロッパ各国のデジタルアーカイブ化プロジェクトも手掛けている。

- ・ウフィツィ美術館・先進技術部では、館蔵作品のデジタルアーカイブ構築プロジェクト（DADDI：Digital Archive through Direct Digital Imaging）を3年間に渡り実施し、ウフィツィ美術館の約2,000点の館蔵作品（全絵画・彫刻）のデジタルアーカイブ化を行った。
- ・大英博物館では、高解像の画像やアニメーション、動画や音声やガイドツールを用いて収蔵品に関する綿密な情報をインターネットユーザや来館者に提供するデジタルギャラリー「コンパス」を運用している。
- ・コービス社は、約2,000万点の画像イメージと100万点以上の高精細デジタル画像をデータベース化し、厳格な著作権管理の下、オンラインで画像ファイルや印刷物の流通を行っている。
- ・ポール・ゲッテイ・ミュージアムでは、画像検索システム「アーサー」や、収蔵作品のデジタル化画像と説明情報を提供するコレクション情報システムが継続して開発されている。また、アート・インフォメーション・ルームでは、素材や修復材料の体験や、マルチメディアを用いたアートの歴史体験が可能な環境などが整備されている。

## (2) 関連技術動向と問題点

### ① デジタル化

- ・VASARI プロジェクトでは、絵画を直接デジタルデータとして取り込む高精度（色再現）、高精細なスキャンシステムを開発した。本システムでは専用の雲台を用いて CCD を動かして絵画をモザイク状に取り込み、後にそれらを合わせてより高精細な画像データを作成する。1mm 辺り 20 ピクセルのデータを、可視スペクトル全域を覆う 7 つのカラーバンドを用いてデジタル化する。しかし、撮影の際に必要なシステム全体の設置、照明、一昼夜におよぶ取り込み時間に多大なコストがかかるため実用化に至らなかった。
- ・MARC プロジェクトでは、デジタルカメラを用いてダイレクトにデジタルデータを取得し、撮影時間を 30 分まで短縮した。しかし、首振り方式で分割して画像取得する方式のため、十分な画質が得られなかった。
- ・西洋美術館では、8 x 10 インチ版の大型カメラとカラーポジフィルムを使用して撮影を行い、スキャナを用いて最大 8,000 x 10,000pixel で画像をデジタル化している。
- ・問題点は、図 2-1 に示すように、全国の美術館、博物館の収蔵品のデジタル化率がきわめて低いことである。これは、デジタル化に要する手間やコストが大きいためである。このように、デジタル化に要する時間、費用のコストを削減することが課題である。

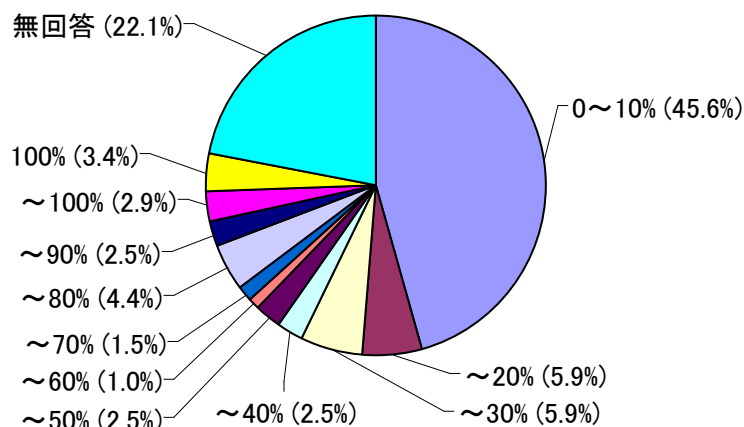


図 2-1 収蔵品のデジタル化率 (母数=204施設)  
 (「デジタルアーカイブ白書2003」(デジタルアーカイブ推進協議会刊))

## ②カラーマネジメント

超高精細画像を再現するにあたっての重要なポイントはカラーマネジメントである。現在、撮影においてフィルムカメラがデジタルカメラへ移行し、データ入力においてスキャナが急速な進歩を果たしつつある。

また、データの流通においては、ブロードバンドの急速な普及により、ポジフィルムでの流通が、データ送信に変わりつつある。出力においては、オフセットやグラビアを中心とした印刷に、プリンターによる出力が大きな位置を占めつつある。

カラーマネジメントの問題は、プリンタ、CRT、フィルム、印刷物などデバイスによって色再現域が異なる点や、照明・背景などの環境によって色の見え方が変わるといった問題があり解決には至っていない。

## ③コンテンツの階層的蓄積方法

コンテンツの多様な閲覧、利用には階層的蓄積技術が利用される。階層化は解像度多重化により実現されている。代表的な画像フォーマット例として、Gigaview、Flashpix、Mr. SID 等がある。

## ④電子透かし

商用デジタル著作権管理方式の標準規格は確立しておらず、各社から方式が提案されている。

- ・日本 IBM では、「DataHiding」を開発した。
- ・digimarc Co. では、直接埋め込み方式を用いた「Imagemarc」を開発した。
- ・Blue Spike, Inc. では、フーリエ変換を利用した「Giovanni」を開発した。
- ・エム研では、周波数成分に埋め込みを利用した「LUSENT MARK」を開発した。
- ・MediaSec では、RSPPMC 法を用いた「SysCop」を開発した。
- ・NEC ソフトウェアでは、直接埋め込み方式による「電子透かしシステム」を開

発した。

- ・山梨県立美術館の「美術館システム」では、画像の配信サーバには電子透かしを入れる機能があり著作権や著作権保護を配慮した運用を行っている。

- ・コービス社では、インターネット公開している約 210 万点の画像に電子透かしを埋め込み、ホームページへ転載された場合、自動監視により発見される。マーケティングの観点から、無料画像の透かし情報はダウンロード画像の流通ルート追跡にも使われている。

電子透かし埋め込み画像は、そのまま表示・印刷可能であるが、画像編集による幾何学的な変形処理や改ざん処理、JPEG 圧縮処理により電子透かし情報が消去されない「耐性」を具備する必要がある。特に、高精細画像データに対する電子透かし技術の確立は、インターネット公開や商用流通の実現に不可欠である。しかし、透かし情報の不可視化と耐性はトレードオフの関係にあり、両立は難しいという問題がある。

#### ⑤散環境著作権管理方式

分散環境で著作権管理を行っている例はほとんど見られず、現在はコービス社、ゲッティイメージ社等の一元管理方式によるコンテンツ流通が一般的である。しかしながら、一元管理方式には管理情報へのアクセス性の問題がある。また、現状ではコンテンツホルダーが、コンテンツプロバイダーに自身の持つコンテンツを安心して提供する環境が整っていないという問題がある。

#### ⑥検索技術

画像検索は大別して、キーワード検索方式と、キー画像検索方式がある。キーワード検索には、通常の文字ベースのメタ情報データベース検索と、文字・画像の主観的な類似情報空間を扱う感性検索方式がある。また、キー画像検索方式は、ユーザが描いたスケッチで検索するスケッチ検索と、ユーザが指定した画像に近い類似画を検索する類似画検索に分かれる。

- ・横浜美術館では、インターネット上で類似画検索が可能で、指定作品の平均色・ヒストグラム色・定位置色・テクスチャに近い類似作品を検索できる。

- ・ゲッティ情報研究所では画像検索システム「アーサー」を開発した。画像を 64 ブロックに分割し各ブロックの形状や色の比較を行う。

画像検索は、キーワードによるメタ情報検索方式が実現されている。しかし、作品に対して適切なキーワードを入力するのは困難な場合が多い。これは、デジタルアーカイブへのユーザアクセスが限られる原因のひとつとなり問題である。候補画像から目的とする画像をデータベースの中から検索したり、インタラクティブなスケッチ検索など、ユーザの嗜好に基づいた画像検索方式の確立が課題である。



### 3 研究開発の全体計画

#### 3-1 研究開発課題の概要

##### 3-1-1 全体概要

本研究課題においては、高品位デジタルコンテンツに対して、コンテンツホルダーの権利を保護しつつ、ネットワークを介しての流通を活発化させることを目的とする。そのための研究開発課題として、超高精細デジタルコンテンツの生成から一般ユーザへの流通までを網羅する以下の研究開発課題を設定する。

##### 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- (1) 位置補正・画像合成処理
- (2) ひずみ補正
- (3) 色補正処理（カラーマネジメント）
- (4) 質感表現三次元データ生成処理
- (5) コンテンツデータ・メタデータ一元管理方式

##### 【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- (1) コンテンツの階層的な蓄積方式
- (2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし
- (3) 分散環境著作権管理方式

##### 【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- (1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化
- (2) キーワードと画像特徴のマッピング
- (3) コンテンツ主導型ナビゲーション

##### 【課題 エ】 実証実験

最終的な実証実験システムの概要および、各研究課題の位置付けを図3-1に示す。

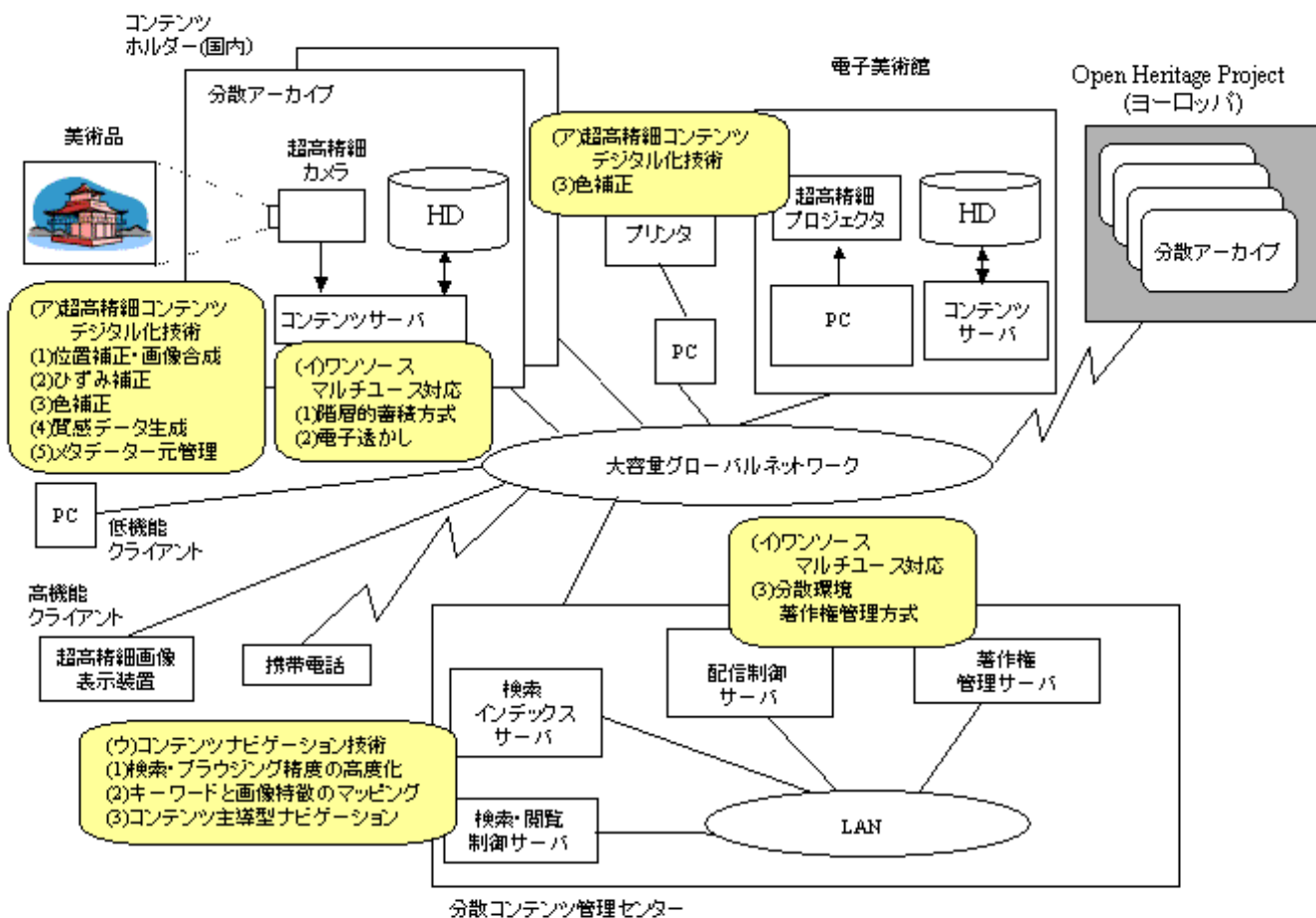


図3-1 大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散流通技術の研究開発概略図

以下、個別課題毎に課題の設定理由、実施内容について説明する。

### 3-1-2 個別課題毎の実施内容

#### 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

高品位デジタルコンテンツの流通のためには、コンテンツホルダーが所有する価値の高いコンテンツを、高品位でデジタル化する環境を整えることが課題となる。デジタル化したコンテンツは、オリジナルコンテンツに対する調査や研究目的、二次・三次利用のためのマスターデータとして位置付けられるものでなければならない。そのため、可能な限り高精細かつ高精度でのデジタル化が必須である。

近年の技術開発によって、超高精細画像コンテンツのハンドリングを可能とする基本的な入出力機器が揃いつつある。しかし、これらの機器によるデジタル化は、例えば、以下の問題点を有している。

① フィルムスキャナ

非常に高精細な画像の取り込みが可能であるものの処理に時間がかかる。

② デジタルカメラ

フィルムスキャナと比較して解像度的に劣る。高解像度化を図るため

には、精密な位置合わせによる撮影が必要になる等、大規模なシステムが必要となる。

そこで、本研究開発では、より簡単かつ高速な高品位デジタルデータ生成のための技術開発を行う。超高解像度、忠実な色再現性を達成するため、超高精細デジタルカメラを用いて撮影した画像に対する以下の処理についての研究を行う。

- (1)位置補正・画像合成処理
- (2)ひずみ補正処理
- (3)色補正処理（カラーマネジメント）

研究にあたっては、複数枚撮影した画像の合成や、グリッドパターン、色パターンを撮影し、それらのパターンからの補正値をコンテンツの撮影画像に対して随時フィードバックをかけることによる補正方式等について検討し、最終的にはこのプロセスの自動化を目指す。また、SN比等の数値比較による客観的評価や、超高精細デジタルコンテンツの表示が可能な表示機器を用いての専門家による主観的評価を実施しながら進める。

さらに、より高度なデジタル化のため、下記についても研究を行う。

- (4)質感表現三次元データ生成処理

コンテンツを単なる平面として捉えるだけでなく、例えば、絵画であれば、キャンパス上の絵具の“のり”といった表面の質的な情報の再現を行うために、三次元データを生成する処理についての研究を行う。これにより、従来の二次元データでは実現できなかった、例えば光源の方向の違いによる見え方の差異等、も表現できるようになり、よりリアルな表示が可能となる。

- (5)コンテンツデータ・メタデータ一元管理方式

デジタルカメラによって撮影したコンテンツ自体のデータとメタデータ（例えば、撮影条件）とを関連付けて管理する手法について研究する。これによって、コンテンツデータ管理の負担軽減、及び、コンテンツデータに対して各種処理を施す際の参照データとして、メタデータを簡単に利用できるようにする。

#### **【課題 イ】ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術**

超高精細デジタルコンテンツは、流通コンテンツに対するマスターデータとして位置付けられるものである。これらのコンテンツの流通にあたっては、以下の点を考慮する必要がある。

- ① 用途に応じて、コンテンツの品質（解像度、色深度等）を変える必要があること。

閲覧目的で多くの画像を一度に見たい場合は、解像度を落とし縮小したサムネイル画像で充分であるし、本格的な印刷用途に供する場合には、高品質・高解像度のコンテンツが必要となる。

- ② 部分的な切り出し／オブジェクト抜き取り等に対応できる必要があること。

超高精細デジタルコンテンツは、その空間的な一部分であっても十分に再利用可能となる品質を有しているため、コンテンツ内に含まれるオブジェクト等の部分的な領域の切り出しや、有意なオブジェクト単位についても考慮する必要がある。

- ③ 著作権の管理が行えること。

二次・三次利用者が編集、変換等を行った後であっても、オリジナルのコンテンツが特定できることが必要である。

- ④ 分散アーカイブ環境に対応した著作権保護環境を提供する必要があること。

コンテンツホルダーが、それぞれのデジタルアーカイブを構築する分散環境においては、処理の効率化、メンテナンスのし易さ、著作権管理のし易さ等を考慮した上で、どの部分を分散管理し、どの部分を集中管理するかを考慮する必要がある。

そこで、以下の3点について研究を行う。

(1) コンテンツの階層的な蓄積方式

- ・ 画質／解像度による階層化
- ・ ネットワーク上のDBの階層化

本研究で扱うコンテンツの階層的な蓄積には2つの視点があり、1つはコンテンツのファイル内部構造としての解像度別の階層的蓄積(図3-2)、もうひとつはコンテンツの情報を管理するDBの階層的蓄積(図3-3)を考える。

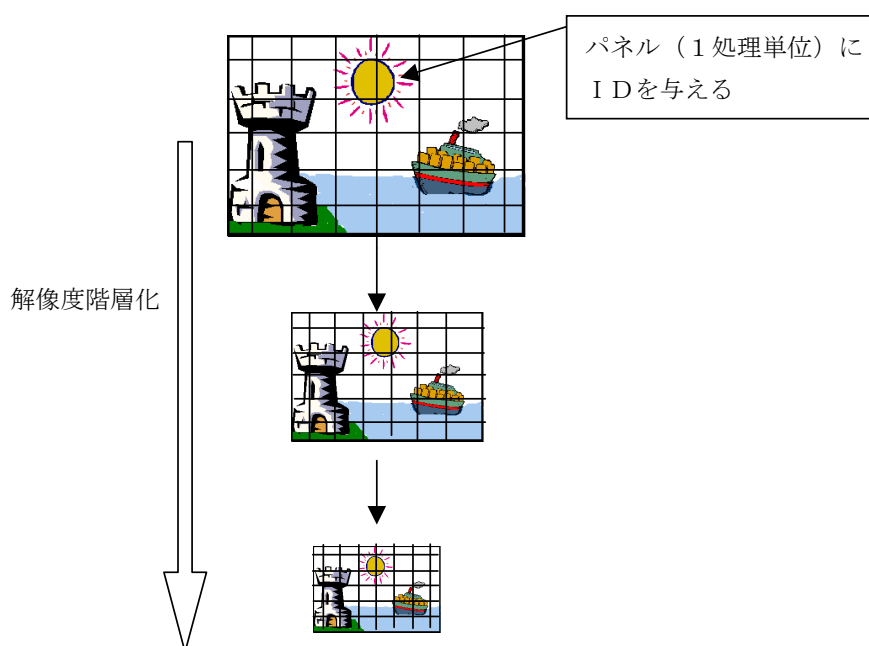


図3-2 超高精細コンテンツ構造化

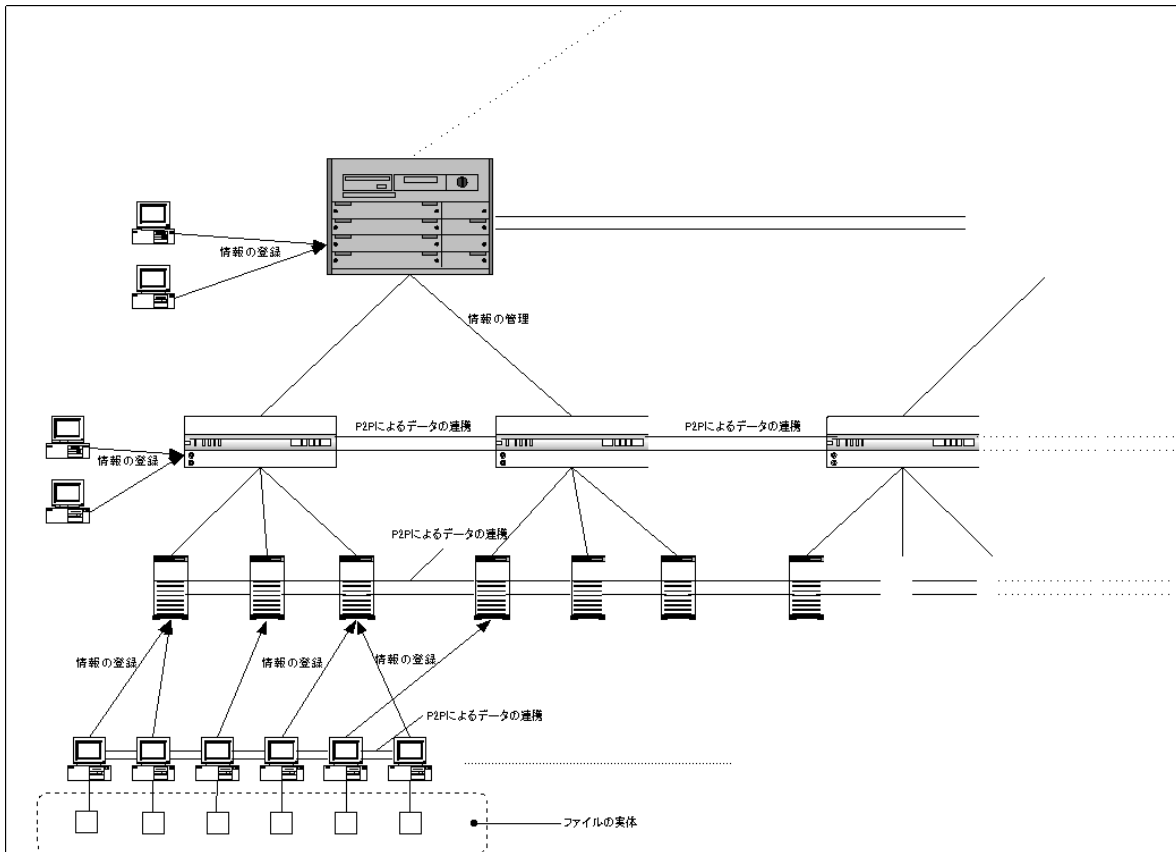


図3-3 DB構造の階層化

これにより、アーカイブされた画像を自身が一番近いサーバあるいはそのノードに属するクライアントマシンからデータを転送することを可能にし、またその上に解像度別の階層構造をもつデータフォーマットでデータを保持することによりさらに効率的な管理、配信を行うことを可能とする。

また、1つのデータベース/クライアントマシンに1つのカテゴリのデータを割り当てるなどすることで、その枝自身がDBの1要素として扱えるような構造であることも研究する。

(2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

デジタルコンテンツに対してなされる符号化、フォーマット変換、変形等の画像処理に対して耐性のある電子透かしについて研究を行う。超高精細デジタルコンテンツが対象であることから、特に以下の2点について考慮する。

- ① 画質と埋め込む情報量との関連を明確にすること。
- ② 部分的な切り出し(トリミング)や縮小等の操作後でも、電子透かしの検出を可能にすること。

(3) 分散環境著作権管理方式

上記図2.2のような構造をもったネットワーク上の有意なデータベースの1つ1つがそれぞれ効率的なデータ管理、著作権管理等を実現する仕組みを保持しうることにについて研究を行う。これにより、巨大なDB

を構築することなく、個々のコンテンツホルダーが自分自身のデータを管理し、そのDBを連携させることによって、著作権管理の負担の少ない透過的な枠組みを提供する。

### 【課題 ウ】 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング技術

数多くの高品位デジタルコンテンツが蓄積されると、各ユーザが必要としているコンテンツを的確に検索する、あるいは効率よくブラウジングすることが困難になってくる。インターネット上のサービスの中には、情報提供のために用いられる HTML 中のテキスト情報を用い、検索やブラウジング機能の高度化を目指しているものが幾つか存在する。しかし、画像等のコンテンツの場合、ユーザの検索要求を明確に表現することが困難であること、付加されるべきキーワードを与える手間が負担であること等の問題点がある。

そこで、これらの問題点を解決するため、以下の3点について研究を行う。

#### (1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化

コンテンツ自体から信号レベルで抽出される特徴量、付加情報から抽出されるキーワードを用いて、多次元の検索インデックスを構成する。これにより、キーワード、例示画像、スケッチ等、ユーザからのさまざまな検索キーに対応可能な検索機能を開発する。その上で、ユーザによる検索結果の評価等のインタラクションから、各種検索パラメータの重み付けを最適化することで高精度な検索を実現する。

同様に多数のコンテンツを提示するブラウジング環境においても、ユーザのアクセス履歴に応じて、ブラウジングのための各種の軸（例：作者、年代、色分布、テキスト等）の重み付けを最適化し、ユーザの方向性に合致した情報整理・提示機能を実現する。

#### (2) キーワードと画像特徴のマッピング

コンテンツ検索の最初のきっかけとしてふさわしいのは、キーワードである。しかしながら、例えば絵画の場合、その作者、年代等はコンテンツの蓄積時にコンテンツの付加情報として与えられることが自然であるが、その内容についての記述がなされることが少ない。そこで、画像の特徴量とキーワードのマッピングを行う方式について研究を行う。具体的には、キーワードと画像からなる訓練セットを用意し、それらから対応モデルを構築し、このモデルを新規画像データに適用し、キーワードを付加することを目指す。

これにより、以下を可能とする。

- ① 画像データに対してキーワード等の付加情報を与えることができる。これにより、キーワードによる画像検索が可能になる。
- ② キーワードが検索キーとして与えられた場合に、そのキーワードを画像特徴量にマッピングさせ、特徴量によって分散ア

一カイクの検索を行う。これにより、キーワードが与えられていないコンテンツ、および、付加されているキーワードの言語（日本語、英語等）が異なるコンテンツに対する検索が可能になる。

上記二つの研究開発において共通するのは、コンテンツとそのラベル（(1)においては、ユーザの評価や操作、(2)においては、キーワード）を対応させ、それらの関係を抽象化したモデルを構成するという機械学習的な手法を用いることであり、各機能を実現するための属性（特徴量）の選択方法、学習アルゴリズムの最適化が必要となる。これらのシステム概念図を図3-4に示す。

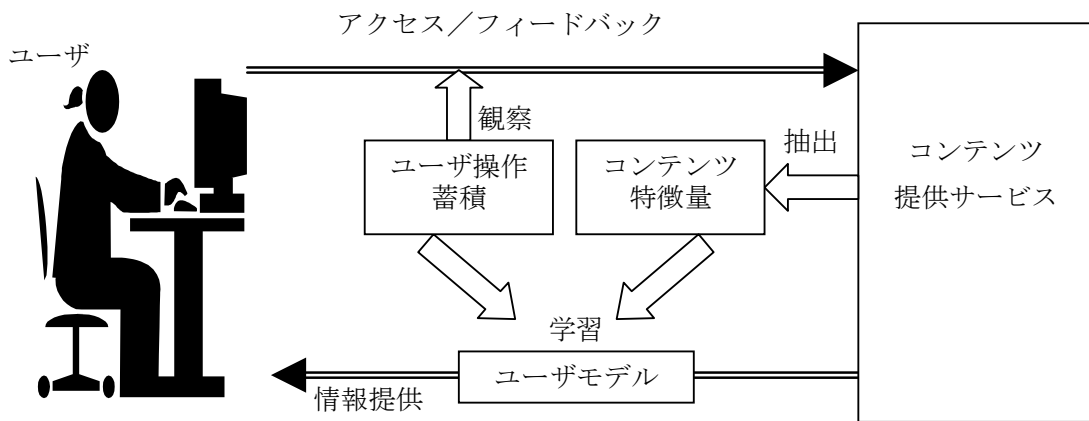


図3-4 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング

なお、使用する画像特徴量等については、マルチメディアコンテンツに対するメタデータの記述方式として標準化が進行中である MPEG-7 記述を参考にし、効率的に研究を進める。

### (3) コンテンツ主導型ナビゲーション

従来のインターネットにおける情報提供はテキストが基本であり、静止画等の画像コンテンツは、HTML で記述されたリンク情報によって初めてアクセスが可能であった。そのため、コンテンツそのものが単独で流通した状態では、そのコンテンツに関する情報へのアクセスが困難になる。そこで、本研究開発課題では、電子透かしを活用し、電子透かしをキーとしたメタインデックス作成により付加情報へのアクセスを実現する。本機構の概念を図3-5に示す。

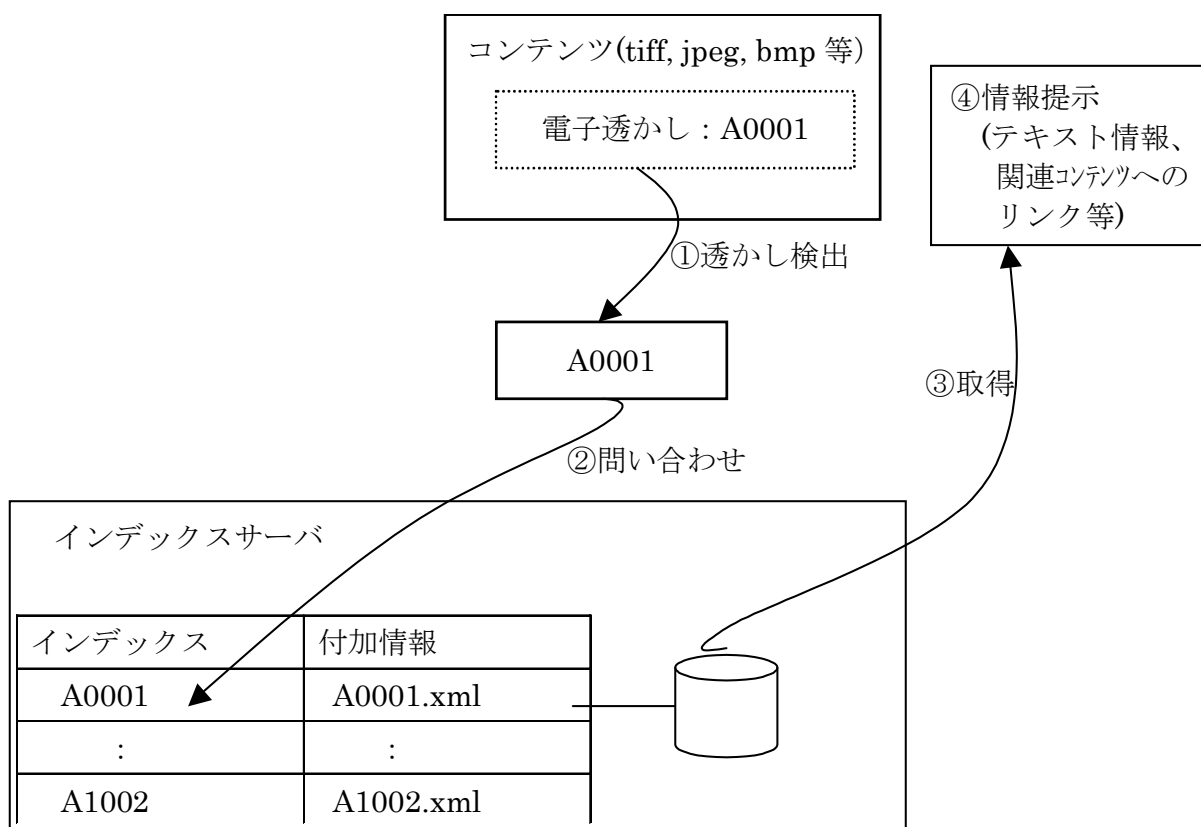


図 3-5 コンテンツ主導型ナビゲーション

これによって、入手したコンテンツの所在場所、画像フォーマットによらず関連情報のブラウジングが可能になる。

#### 【課題 エ】実証実験

技術的な面からの研究開発だけでなく、コンテンツホルダーと連携し、ビジネスモデル的な観点からも検討を行う。

上記【課題 ア】から【課題 ウ】までの技術を組み込んだコンテンツ生成、データの蓄積・配信、検索・ブラウジング機能が、1つのフローとして分散アーカイブ上で検証できるシステムを構築する。

本システムでは、実際にギガビットネットワークを介して、コンテンツホルダーとユーザを接続し、実運用に近い構成での実証実験を行う。さらに、ヨーロッパで進行中であるOpen Heritage Projectとの大容量グローバルネットワークによる接続を目指す。本実証実験において、実運用上の問題点を明らかにし、個々の研究開発技術に対するフィードバックをかける。



## 3-2 研究開発目標

### 3-2-1 最終目標 (平成18年3月末)

#### 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- ・ 超高精細デジタルカメラで撮影した画像をベースにした超高精細・高忠実度デジタルコンテンツの生成を自動化すること。
- ・ フィルムとスキャナとを用いたデジタルコンテンツと比較し、同等以上の解像度を持つコンテンツのデジタル化を可能にすること。
- ・ フィルムとスキャナとを用いたデジタルコンテンツの生成時間と比較し、1/2以下の時間でコンテンツのデジタル化を可能にすること。
- ・ 撮影時から蓄積時までのカラーマネジメント手法を確立すること。
- ・ 出力時におけるマテリアルの相違に対応するカラーマネジメント手法を確立すること。
- ・ 分散環境下においても使用可能なカラーマネジメントシステムを確立すること。
- ・ 古文書や、塑像、レリーフなどの文化資産を対象に質感情報と、高精細デジタル映像(多視点)と、本プロジェクトの成果として生成した質感表現を持つ三次元データを1,000点アーカイブし、超高精細コンテンツデジタル化技術の実用化実証を行うこと。
- ・ 画像合成や色補正を施しデジタル化された最終的な超高精細デジタルコンテンツから、撮影時に付加されたメタデータにアクセス可能にすること。

#### 【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- ・ コンテンツホルダーから支持される著作権のビジネスモデルを確立すること。
- ・ 分散環境下における著作権管理技術を確立すること。
- ・ コンテンツの構造化がなされ、矛盾のない統一的な管理を可能とすること。
- ・ SN比45dB以上の品質で、256ビットのデータを電子透かしとして埋め込んだ時に、検出の誤り率を $10^{-5}$ 以下とすること。(解像度:4,000×4,000時)
- ・ JPEG等の符号化・復号化に対して、電子透かしの検出の誤り率を $10^{-3}$ 以下とすること。
- ・ 切り出し、変形、解像度変換等がなされた後であっても、検出可能な電子透かし埋め込み技術を確立すること。

#### 【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- ・ 利用環境に応じ、質感情報を持つコンテンツの表現形態を変化させる状況適応型コンテンツナビゲーション技術を確立すること。
- ・ 動的解像度変換、色彩・階調変換によって複数の表示環境(超高精細表示装置、三次元表示LCD、任意解像度の通常PC環境、PDAなどの低品質表示装置)に対応できるコンテンツの表示技術を確立

すること。

- 課題アで得られるコンテンツ、1000点の検索表示を実現すること。
- 定義したテストデータによるユーザフィードバック毎の正解率が、典型的な Relevance Feedback を用いる画像検索手法（例えば、現時点では MARS）と比較して優れていること。
- システムの使い勝手に対する MOS 値(主観的評価値)が、5段階評価中、4以上であること。

#### 【課題 エ】実証実験

- システム全体の設計を IP ベースの分散環境に対応する構成にし、プロジェクト参加機関以外の研究機関（国立京都博物館、東大博物館、大英図書館）へ、プロジェクト成果の検証を依頼し、その評価とシステム有効性の実証実験を行うこと。
- グローバルネットワーク（インターネット）アクセスのオーバーヘッドが、ネットワーク構成をとらない集中型コンテンツアクセス方式（従来型の RDBMS 管理）のそれと差が無いこと。

### 3-2-2 中間目標 (平成16年3月末)

個々の研究課題に対して、以下を達成していること。

#### 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

- ・ 開発したアルゴリズムによって、複数枚の超高精細デジタルカメラ撮影画像を合成し、超高解像度画像を生成できること。
- ・ 作品の傾向別のライティング、レンズの種別など最適撮影条件を決定すること。
- ・ デジタルカメラ、フィルムスキャナそれぞれから得られるデータの発色特性の比較実験を完了すること。
- ・ カラーマネジメントにおいて、メタデータにすべき項目を仮決定すること。
- ・ 顔料インク、染料捺染インク、レーザー露光熱現像転写方式、以上3方式のプリンターによる発色特性を把握すること。
- ・ キャリブレーションシステムにより生成される修正用カラープロファイル特性を決定すること。
- ・ 10種類程度の紙、3種類以上の布を研究材料とし、メディアによる発色特性の違いを把握し、それに対する修正用カラープロファイル特性の有効性を測定すること。
- ・ ルーブル美術館所蔵の油絵、京都の文化財である日本画それぞれ3点程度の作品を選択し、その描画手法の違いからカラーマッチング手法の変更の必要性を検証すること。
- ・ デジタルカメラで撮影した画像とメタデータの一元管理システムの設計を完了していること。
- ・ 立体構造が明示的な対象（レリーフや彫刻）100点の質感情報の解析および入力と、超高精細画像データの管理方式の設計を完了していること。

#### 【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

- ・ 単一のコンテンツを自動的に構造化し、データベースに格納可能とすること。
- ・ ローカルネットワークによって、簡易分散環境を構築し、端末から分散して存在するコンテンツにアクセス可能とすること。
- ・ 電子透かし方式を3種類作成し、比較検証すること。
- ・ JPEG 符号化・復号化がなされた後であっても、検出の誤り率を  $10^{-2}$  以下とすること。

#### 【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

- ・ パイロット的な状況適応型コンテンツナビゲーションによる、課題アにより得るコンテンツ100点の検索および表現方式の実現を2D超高精細表示装置を用いて実現すること。
- ・ 上記コンテンツから、「色」、「形状」、「テクスチャ」のパラメータを抽出する特徴抽出エンジンの設計を完了していること。

- ・ パラメータによる類似画像の検索を可能とすること。
- ・ 電子透かしとしてコンテンツに埋め込まれているインデックスに対応する関連情報のプレゼンテーションを可能とすること。

なお、【課題 エ】は、平成16年度から実施する。

### 3-3 研究開発の年度別計画

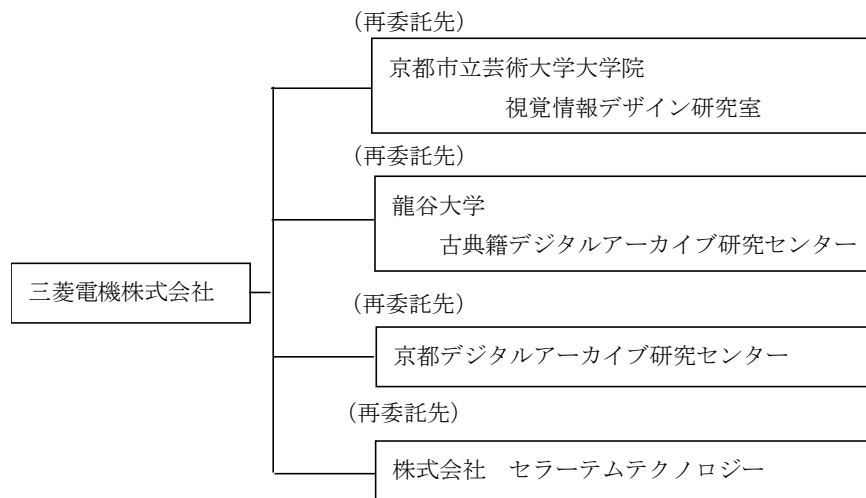
(金額は非公表)

研究開発項目	14年度	15年度	16年度	17年度	計	備考
大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ分散利用技術の研究開発						三菱電機(株)
【課題 ア】 超高精細デジタルコンテンツデジタル化技術	基 本 方 式	一 次 開	二 次 開	実証実験のフィードバックにより適宜改良		一部再委託： 京都市立芸術大学 龍谷大学 京都デジタルアーカイブ研究センター
【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術	検 討 ・ 試 作	発	発		一部再委託： 京都市立芸術大学 セラータムテクノロジー	
【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術					一部再委託： 龍谷大学	
【課題 エ】 実証実験		中間評価			一部再委託： 京都市立芸術大学 龍谷大学 京都デジタルアーカイブ研究センター セラータムテクノロジー	
間接経費						H14年度は間接経費率 30.0% H15年度以降は 26.8% で計算
合計						

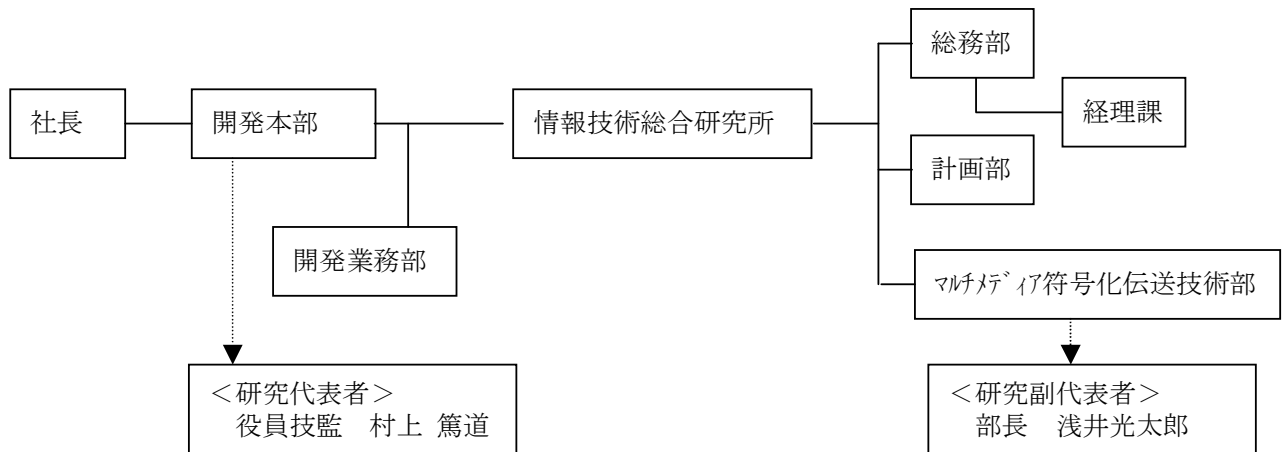
- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。  
2 備考欄に再委託先機関名を記載

### 3-4 研究開発体制

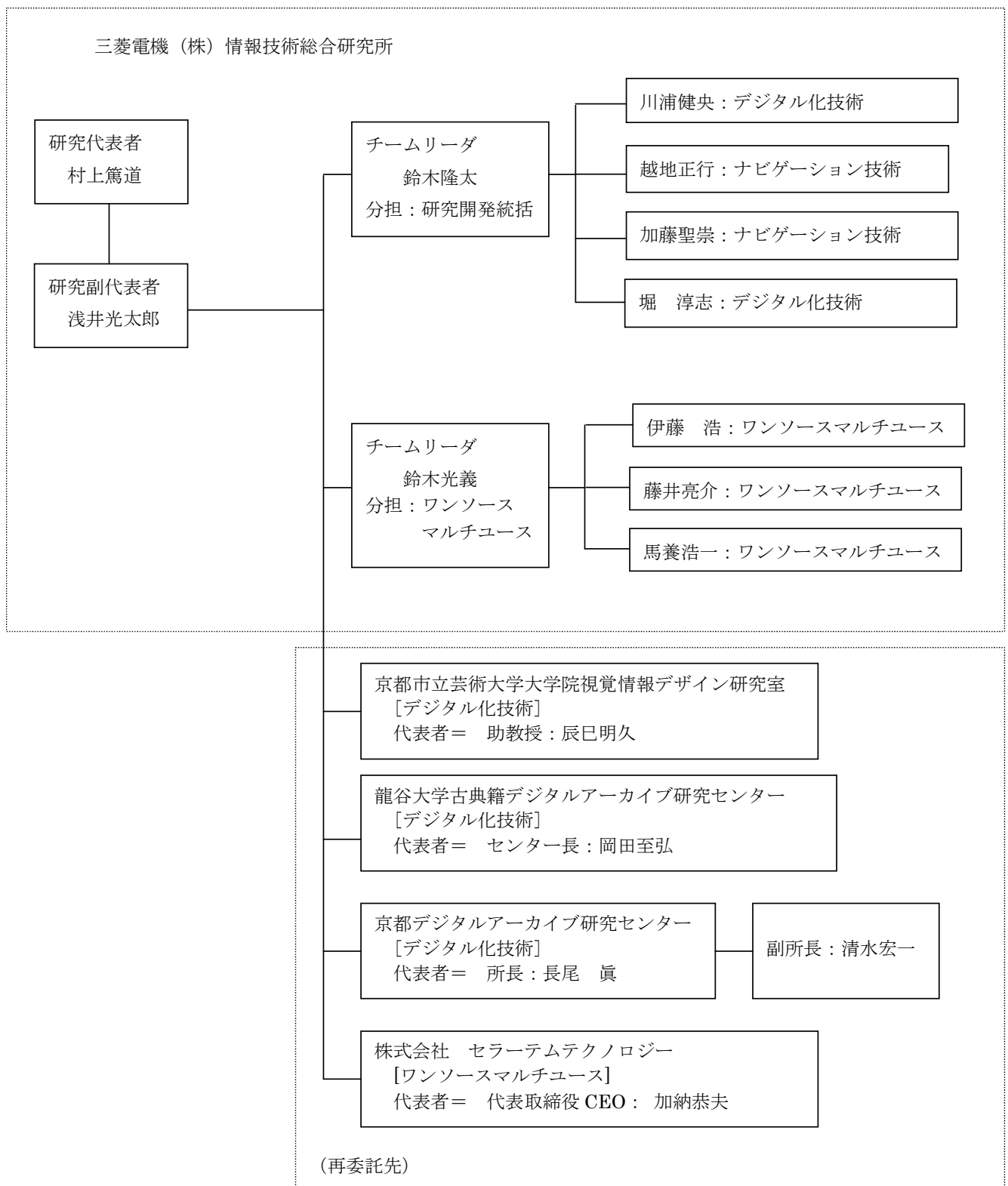
#### 3-4-1 研究開発管理体制



三菱電機株式会社



### 3-4-2 研究開発実施体制



## 4 研究開発の概要

平成14年度は、各研究開発項目の調査・方式検討を行なうと共に、基本的な機能を持ったプロトタイプシステムの開発を実施する。

平成15年度は、前年度実施した各研究開発項目の調査・方式検討および、基本的な機能を持ったプロトタイプシステムの開発結果に基づいて、各研究開発項目の詳細な評価・検証と、プロトタイプシステムをより実用化に近づけるための基本的な開発を実施する。以下に研究開発項目毎の開発実施内容を示す。

### 4-1 研究開発実施計画

#### 4-1-1 研究開発の計画内容

##### 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

##### (1) 位置補正, 画像合成処理自動化

GUIによる半自動化を拡張し、各部分画像の共通特徴オブジェクトを抽出S/Wによる自動マッチング方式を開発する。

##### (2) ひずみ補正

グリッドパターン照射による平面被写体に対する光学系ひずみ除去のための変換アルゴリズムを改良し、奥行きに対する補正変換可能なバイリニア変換による奥行きのある物に対する補正法を検討する。

##### (3) 色補正処理 (カラーマネジメント)

カラーマネジメントにおける主なチェックポイントは下記8項目である。最終目標は、コンテンツ流通において活用可能なカラーマネジメントの標準化であり、それは①～⑧をフローとしてつなげていくことから得られるものである。

下記各項目個別の特性と問題点の把握が最終目標に向けての平成14年度の基本的な研究内容であった。これを受けて平成15年度は、下記①、②、③、④、⑦の項目に関して重点的に研究を進展させる。

- ① 撮影時に生成されるデータの発色特性
- ② 保存～配信時におけるカラーの劣化要因の有無
- ③ メタデータすべき項目の抽出
- ④ 出力時における各出力デバイス固有の発色特性
- ⑤ PSソフトリップによるカラーマネジメント特性
- ⑥ キャリブレーションシステムにより生成される修正用カラープロファイル特性
- ⑦ 紙、その他出力メディアによる発色特性
- ⑧ 発色の主観的評価

##### [平成15年度の研究の具体的内容]

・①に関しては、平成14年度に継続して、京都の文化財の撮影を高精細デジタルカメラで行う。

・②、③の研究ではメタデータとすべき項目を検証し、コンテンツ・メタデータ一元管理方式の研究との連携をはかる。



・④、⑦の研究では、数点のコンテンツを選択し、方式の異なるプリンターによる発色の差異を把握する出力実験を行う。

[研究発表予定]

- ・Crisatel プロジェクト ギリシア中間報告レビュー（平成15年4月上旬）
- ・日本・紙アカデミー研究発表会（平成15年6月）
- ・意匠学会研究発表会（平成15年度後期研究発表会）
- ・京都市立芸術大学研究紀要（平成15年度版・平成16年3月発刊予定）

#### （4）質感表現三次元データ生成処理

平成14年度計画を拡充し、下記2項目のモデル化を具体化し、実対象を選択し、実証実験を進める。

##### ① 質感モデルに対応した質感データ入力システムの構築

可変角度による光源制御と反射光受光方式を確立し、各種材質（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データからの、双方向性反射特性モデルを作成し、ここから、未知材質、素材の双方向性反射特性モデル推定を行う。ここでの質感データ入力システムとして、平成14年度導入のゴニオフォトメータを用い、実験室段階での（フィールド利用は、次年度以後）BRDF: Bi-directional Reflectance Distribution Function情報の収集と、解析から、各種光源の入射および反射の方向と反射率の相互関係表を作成する。

##### ② 超高精細コンテンツに対応した質感表現

京都デジタルアーカイブ研究センター所蔵のコンテンツと、本プロジェクトで新たに撮影された京滋の文化財のデジタルコンテンツの、解像度に対応した超高精細デジタルデータ表示を、二次元表示だけでなく質感表現を可能とする超高精細コンテンツ対応の疑似3D表現および疑似光源設定による質感強調のためのパイロット表示システムを構築する。

超高精細コンテンツを単なる平面画像データとして捉えるだけでなく、例えば、絵画であれば、キャンパス上の絵具の“のり”といった表面の質的な情報の再現を行うために、三次元データを生成する処理についての検討を行う。これにより、従来の二次元データでは実現できなかった、例えば光源の方向の違いによる見え方の差異等も表現できるようになり、よりリアルな表示が可能となる。

#### 【課題 イ】ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

平成15年度は、前年度に行ったプロトタイプシステムの開発に基づき実験を行うことにより問題点を抽出し、さらに完成度の高い設計・開発を実施する。以下に研究開発項目毎の開発実施内容を示す。

##### （1）コンテンツの階層的な蓄積方法

下記2項目において実証実験、検討、第二次試作を行う。

##### ① コンテンツファイルの階層化

平成14年度に試作した解像度多重フォーマットにおいて実データを変換し、デコードを中心に実証実験を行う。そこから得られた結果をもとに第二次設計および開発を行う。

## ② コンテンツ情報の階層化

平成14年度に行われたテストに加え、データベースや連携モジュールの設計変更とプロトタイプの変更開発を行う。

### (2) 分散環境著作権管理方式

平成14年度行われたテストに加え、データベースや連携モジュールの設計変更とプロトタイプの変更開発を行う。

### (3) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

真正性証明透かしを完成させる。さらに著作権流通管理透かし、メタデータ透かしを開発し、これらを重畳して評価する。

著作権流通管理透かしについて、3種類の方式を検討し、比較検証する。JPEG符号化・復号化がなされた後であっても、検出の誤り率を $10^{-2}$ 以下とする。

## 【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術

### (1) ユーザとのインタラクションによる検索ブラウジング精度の高度化

平成14年度開発の検索システムをベースに特徴量抽出のアルゴリズム、フィードバック情報の適用方法等の改良を図る。

### (2) クラスタリング

課題アにより取得したコンテンツを登録し、フィードバック情報の収集、コンテンツのクラスタリング方法の検討を行う。

### (3) コンテンツ主導型ナビゲーション

電子透かしを用いてメタインデックスを埋め込み、画像コンテンツの付加情報にアクセスするシステムを開発する。電子透かしとしてコンテンツに埋め込まれているインデックスに対応する関連情報のプレゼンテーションを可能とする。

#### 4-1-2 研究開発課題実施計画

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
<b>【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術</b> (1) 位置補正、画像合成処理 (2) ひずみ補正 (3) 色補正処理 (4) 質感表現三次元データ生成処理 (5) デジタルコンテンツの作成と提供	方式検討		試作・評価			三菱電機 一部再委託: 京都市立芸術大学 京都デジタルアーカイブ研究センター 龍谷大学
<b>【課題 イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術</b> (1) コンテンツの階層的な蓄積方式 (2) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし (3) 分散環境著作権管理方式	方式検討		試作・評価			三菱電機 一部再委託: (株)セラーテックテクノロジー
<b>【課題 ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術</b> (1) ユーザとのインタラクションによる検索・ブラウジング精度の高度化 (2) キーワードと画像特徴のマッピング	方式検討		試作・評価			三菱電機 一部再委託: 龍谷大学
間接経費						
合計						

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。  
 (合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)
- 2 備考欄に再委託先機関名を記載。

## 4-2 研究開発の実施内容

### 【課題ア】超高精細コンテンツデジタル化技術

#### (I) 位置補正、画像合成処理自動化

#### (II) ひずみ補正

画像の合成・補正処理に必要な特徴点の抽出を自動化することにより、画像合成プロセスにおける自動化を進める。

また、撮影時においても、ユーザ負荷の軽減を目指し、撮影プロセスのシステム化を行う。

#### (III) 色補正処理

① 平成14年度に継続して、京都の文化財の撮影を高精細デジタルカメラで行い。撮影時に生成されるデータの発色特性を確認する。

② メタデータとすべき項目を検証し、コンテンツ・メタデータ一元管理方式の研究との連携をはかる。

③ 数点のコンテンツを選択し、方式の異なるプリンターによる発色の差異を把握する出力実験を行う。

#### (IV) 質感表現三次元データ生成処理

① 質感データ入力とその処理モデルの検討：限定された実験室内（暗室）でのデータ収集を行い、得られた質感データの解析を行う。ここでは、質感データ入力のための可変角度による光源制御と反射光受光方式を確立し、各種材質（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データからの、双方向性反射特性モデルを作成する。質感データ入力システムとして、平成14年度導入のゴニオフォトメータを用い、実験室段階でのBRDF：Bi-directional Reflectance Distribution Function情報の収集を進める。

② 質感表現手法の検討と具体的システム化の検討：裸眼立体視覚に絞ったシステム化を行い、物体表面の微細・高精細な3次元表現のための表示アルゴリズムを開発する。

**【課題イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術**

(I) コンテンツの階層的な蓄積方法

- ③ コンテンツファイルの階層化：平成14年度に試作した解像度多重フォーマットにおいて実データを変換し、デコードを中心に実証実験を行った。そこから得られた結果をもとに第二次設計および開発を行った。
- ④ コンテンツ情報の階層化：平成14年度に行われたテストに加え、データベースや連携モジュールの設計変更とプロトタイプの変更開発を行った。

(II) 分散環境著作権管理方式

平成14年度行われたテストに加え、データベースや連携モジュールの設計変更とプロトタイプの変更開発を行った。

(III) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

- ① 著作権用電子透かし方式の開発とJPEG耐性評価。
- ② カラー画像への真正性証明用電子透かし埋め込みに関する課題解決方法の検討。
- ③ 真正性証明用電子透かしに関するJPEG符号化時の量子化ステップ幅制限撤廃方法の検討。
- ④ 鍵を知っていれば、埋め込んだ電子透かしを取り除くことができるメタ情報埋め込み用電子透かし基本方式の開発。
- ⑤ 電子透かしを埋め込んだ画像データについて、フォーマット変換後にも埋め込まれた電子透かしを検出可能とする方法の検討。
- ⑥ 真正性証明用電子透かし埋め込み後の画質改善方法の検討。

**【課題ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術**

(I) ユーザとのインタラクションによる検索ブラウジング精度の高度化

(II) クラスタリング

平成14年度開発のシステムを改良するとともに、コンテンツのクラスタリング方法について検討した。

(III) コンテンツ主導型ナビゲーション

電子透かしをキーとした付加情報へのアクセス方法の検討。

## 5 研究開発実施状況（平成 15 年度）

### 5-1 【課題ア】超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発

#### 5-1-1 位置補正、画像合成処理自動化・ひずみ補正処理

##### 5-1-1-1 序論

デジタルカメラで撮影した画像を活用して超高精細コンテンツを構成する研究を実施した。今年度は昨年度開発した基本方式に基づき、実際に多くのコンテンツの撮影および補正処理を実施する際に問題となる箇所の改良を目指し、その方式の研究を実施した。昨年度開発した基本方式は次のとおりである（図 5-1-1-1 参照）。

- デジタルカメラを適切な位置に設置して撮影して得られた画像から、実際の画像のもつジオメトリを正確に計算することにより、ひずみのない画像を得る補正処理をする。この研究により撮影対象に平行なジオメトリ上、すなわち正面から見た画像を得ることができる。
- 超高精細コンテンツを構成するために、撮影対象を複数の領域に分割し、デジタルカメラで撮影した各領域の画像データ群を合成する。前項と併せることで、ひずみのない超高精細な画像を得ることができる。

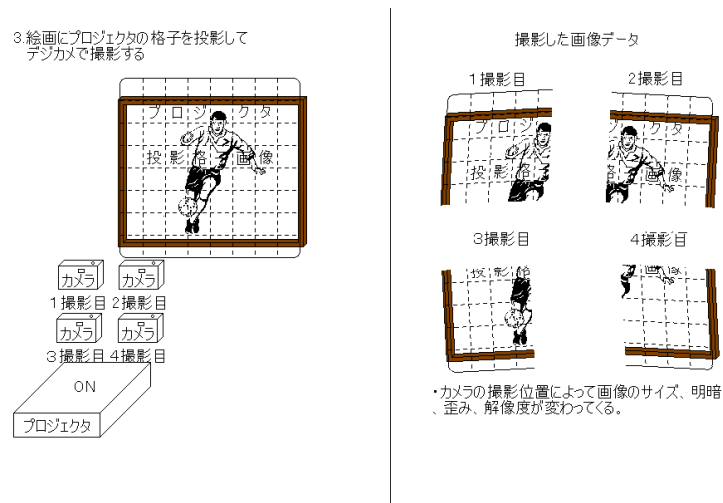


図 5-1-1-1 基本方式

#### (1) 自動特徴点抽出方式の検討

ジオメトリの補正処理を実施するために、撮影画像の座標系と理想画像の座標系との対応関係を求める必要がある。昨年度は、対応関係をまず人手で実施して方式の確認を実施したが、今年度は人手による誤差を削減するために、対応関係の探索を自動化する方式の研究を実施した。

#### (2) 合成画像の補正方式の検討

合成画像を生成するために、各画像の質を均質化する必要がある。今年度は各部分画像の照度を補正することで、全体として同質のデータを生成する方式の研究を実施した。

### (3) 実験と改良

上述の方式に対し、撮影および画像合成の実験を実施し、実際的な面から撮影の方式を改良した。

## 5-1-1-2 自動特徴点抽出方式

ひずみ補正を施すために、特徴点を自動抽出し、画像変換係数を自動算出する方式の研究を実施した。

本基本方式では、デジタルカメラで撮影した撮影対象の分割画像から、画像合成処理により1枚の超高精細画像を生成する。この際、分割撮影された画像を連続的につなぎ合わせるために、マーカとして既知のパターン格子が描かれたアクリル板、アクリル板と同じパターン格子が投影された対象の撮影画像を用いて、画像変換係数を求めるためのキャリブレーションを行う。本手法では、このキャリブレーションにおける画像変換係数を自動算出することを目的としている。

### (1) 座標系と変換写像

画像合成のための画像変換係数を求める過程で使用される、各種2次元座標系および座標系間の変換写像について、次のように定義する。

#### 1) アクリル座標系／撮影対象座標系：A

キャリブレーションの処理として、まず既知のパターン格子が描かれたアクリル板を撮影対象と同じ位置に置いて、デジタルカメラで撮影を行う。このアクリル板上の座標系がアクリル座標系：Aである。アクリル板は撮影対象と同じ平面上に置かれるため、撮影対象座標系とは近似的に等しいものと仮定する。

#### 2) プロジェクタ座標系：P

キャリブレーションにおける次のステップとして、プロジェクタによりアクリル板と同じパターン格子を撮影対象の上に投影し、アクリル板の撮影時と同じカメラ位置で撮影を行う。この際、プロジェクタから投影されるパターン格子の座標系がプロジェクタ座標系：Pである。

#### 3) キャリブレーションカメラ座標系：C

アクリル板およびパターン格子が投影された撮影対象を、同じ位置からキャリブレーション用カメラで撮影するが、この際に得られる撮影画像上の座標系がキャリブレーションカメラ座標系：Cである。

#### 4) 実写カメラ座標系： $R_i$ ( $i=1\sim n$ )

超高精細画像を合成するため、実写カメラを用いて撮影対象の部分分割された高解像度画像およびパターン格子が投影された撮影対象の部分分割画像の撮影を行う。各部分画像ごとにカメラの撮影位置が異なるが、それぞれの位置で撮影された部分分割画像上の座標系が実写カメラ座標系： $R_i$  ( $i=1\sim n$ ) である。

本キャリブレーションでは、これらの各座標系上の点についての対応付けを

行うことで、一方の座標系から他の座標系へのプロジェティブ変換における変換係数の算出を行う。ここでは各座標系間のプロジェティブ変換写像を以下の記号で表す。

- 1)  $F : C \rightarrow A$   
キャリブレーションカメラ座標系からアクリル座標系への変換写像。
- 2)  $G : P \rightarrow C$   
プロジェクタ座標系からキャリブレーションカメラ座標系への変換写像。
- 3)  $H_i : R_i \rightarrow P$  ( $i=1 \sim n$ )  
実写カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換写像。
- 4)  $E_i : R_i \rightarrow A$  ( $i=1 \sim n$ )  
実写カメラ座標系から撮影対象座標系（アクリル座標系）への変換写像。この写像の変換係数が、最終的に超高精細画像を合成するために必要なキャリブレーション情報となる。合成変換の写像  $E_i$  は、各座標系間の関係より

$$E_i = F \cdot G \cdot H_i$$

で表される。

上記の関係より、キャリブレーションでは、キャリブレーションカメラ座標系からアクリル座標系への変換係数 (F)、プロジェクタ座標系からキャリブレーションカメラ座標系への変換係数 (G)、実写カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換係数 ( $H_i$ ) を求めることで、最終的な実写カメラ座標系から撮影対象座標系（アクリル座標系）への変換係数 ( $E_i$ ) を算出する。実写カメラで撮影された各部分分割画像に対して画像変換係数  $E_i$  を掛け合わせ、撮影対象座標系上でつなぎ合わせることで、超高精細画像を合成することができる。

上述の座標系および各座標系間の変換写像の関係を示したものが図 5-1-1-2 である。

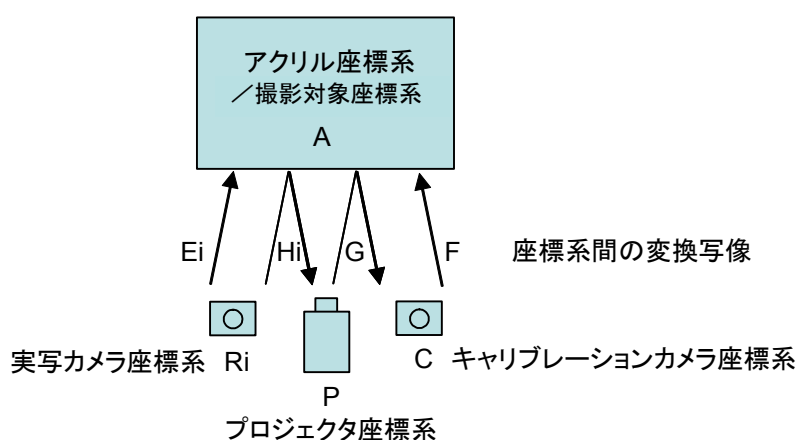


図 5-1-1-2 キャリブレーションにおける座標系と変換写像



## (2) 超高精細画像合成の手順

上述の原理に従い、超高精細画像合成のためのキャリブレーションは、以下の手順で行われる。

### 1) アクリル板の撮影

マーカのパターン格子が描かれたアクリル板を撮影対象と同じ場所に置き、キャリブレーションカメラで撮影する。マーカとしては、撮影画像との間で対応点を自動認識させるため各点の位置を特定できるパターンがアクリル板上に配置されていることが必要である。ここでは、正方形領域の中にそれぞれ固有の図形が描かれたパターンを縦横に48個配列させたパターン格子を使用した。アクリル板上のパターン格子としては、画像処理が容易なように黒地に白で描かれたパターン格子を使用した。図5-1-1-3, 4に本実験で使用したパターン格子と、パターン格子が描かれたアクリル板をキャリブレーションカメラで撮影した画像の例を示す。

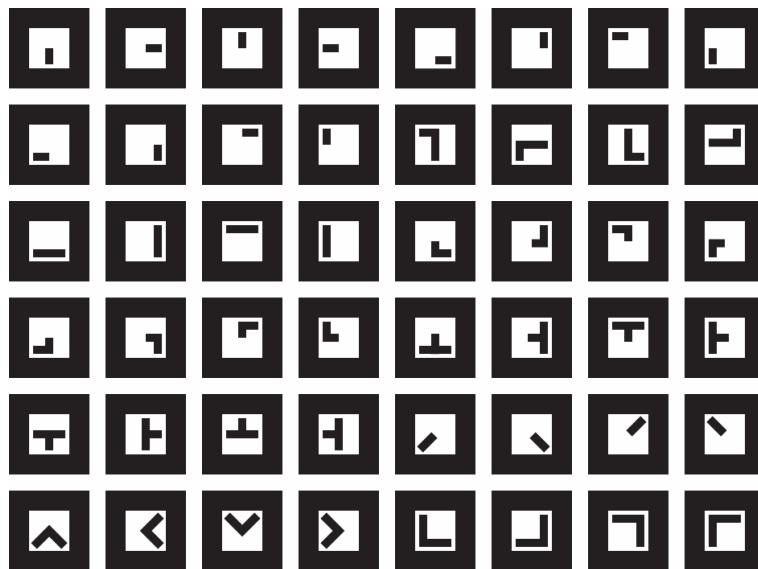


図 5-1-1-3 キャリブレーションで使用したパターン格子

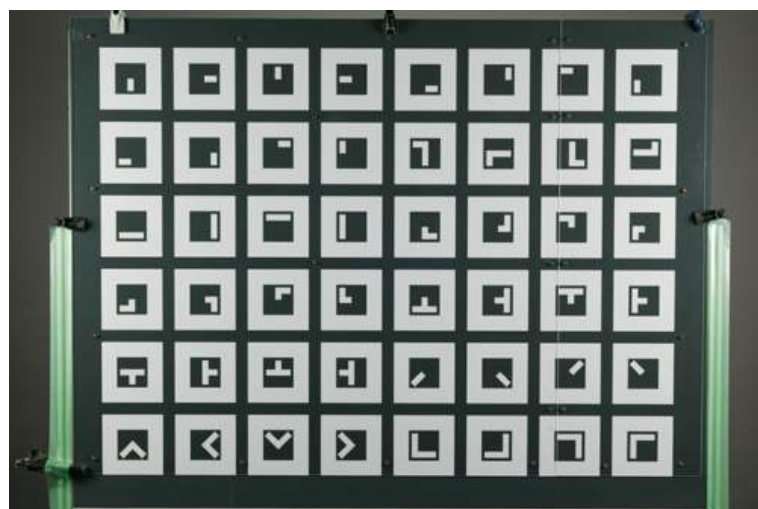


図 5-1-1-4 アクリル板の撮影画像の例

## 2) 画像変換係数 F の算出

アクリル板上に描かれたパタン格子のアクリル座標系上での各点の位置は既知である。一方、アクリル板の撮影画像については、画像処理によって各マーカの形状を自動認識することで、キャリブレーションカメラ座標系上のパタン格子の位置を知ることができる。

ここでは、アクリル板データとアクリル板の撮影画像の間において、複数のマーカ点に関する座標位置の対応を取ることで、キャリブレーションカメラ座標系からアクリル板座標系への変換係数  $F$  ( $f_{q1}, f_{q2}, f_{q3}, f_{q4}, f_{q5}, f_{q6}, f_{q7}, f_{q8}$ ) の算出を行う。対応点としては最低 4 点を得ることが必要であるが、広範囲で多数の対応が得られればそれだけ精度の高い解を得ることができる。本キャリブレーションでは撮影画像上の認識可能な全てのマーカ位置についての対応を求め、最小 2 乗法により画像変換係数の推定を行った。

## 3) パタン格子投影対象の撮影

次に、マーカとしてアクリル板と同じパタン格子のデータを用意し、プロジェクタにより撮影対象の上に投影する。このパタン格子が投影された撮影対象を、アクリル板の撮影時と同じ位置に固定したキャリブレーションカメラで撮影する。

この場合、撮影対象上に投影されたパタン格子を撮影することが目的で、撮影対象自体を撮影することは重要でないため、照明を落としプロジェクタの映像ができるだけ鮮明になる条件で撮影を行った。パタン格子の色については、投影されたパタンが撮影対象の中で使われている色と同じ場合に認識できなくなるおそれがあるため、赤、緑、青の 3 通りの色で描いたパタン格子を用意し、各色のパタン格子を投影した対象を撮影した。また、撮影画像から投影されたパタン格子だけを切り出すため、同じ照明条件でパタン格子を投影しない対象だけの撮影も行った。図 5-1-1-5 は緑色のパタン格子を投影した対象を撮影した画像の例を示したものである。



図 5-1-1-5 パタン格子投影時の撮影画像の例

#### 4) 画像変換係数 G の算出

撮影対象に投影されたパターン格子はアクリル板パターンと同じ画像データとして作成しているため、プロジェクタ座標系上での各点の位置座標は既知である。一方、パターン格子を投影した対象の撮影画像についても、アクリル板撮影画像と同様にマーカの自動認識を行うことで、キャリブレーションカメラ座標系上での各点の位置を求めることができる。

ここでは、パターン格子投影対象の撮影画像から背景差分によってパターン格子だけを取り出し、各マーカ位置の自動認識を行った。パターン格子のデータとパターン格子が投影された対象の撮影画像の間において、複数のマーカ位置の対応を取ることで、プロジェクタ座標系からキャリブレーションカメラ座標系への変換係数 G ( $gq1, gq2, gq3, gq4, gq5, gq6, gq7, gq8$ ) を算出する。対応点については、撮影画像上の認識可能な全てのマーカ位置を用い、最小 2 乗法により変換係数の推定を行った。

#### 5) 撮影対象の分割部分画像の撮影

超高精細画像を合成するため、撮影対象を幾つかの部分領域に分割し、高解像度の実写カメラを用いて部分分割画像の撮影を行う。この際、各部分画像の撮影ごとに実写カメラの設置位置は変更される。この撮影画像が、最終的な超高精細画像の合成に使われる。

#### 6) 撮影対象のパターン格子投影分割部分画像の撮影

プロジェクタによって撮影対象の上に再びパターン格子を投影し、実写カメラによって部分分割画像の撮影を行う。プロジェクタの投影位置はキャリブレーションカメラでの撮影時と変わらないようにし、実写カメラの撮影位置はそれぞれの部分分割対象の撮影位置と同じにする必要がある。この場合も、プロジェクタで投影されるパターン格子が鮮明に見えるように照明を落として撮影を行う。また、背景差分用に同じ照明条件でパターンを投影しない対象だけの撮影も同時に行う。図 5-1-1-6 にパターン格子が投影された部分分割対象の撮影画像の例を示す。



図 5-1-1-6 撮影対象のパターン格子投影部分分割撮影画像の例

7) 変換係数  $H_i$  の算出

撮影対象に投影されたパタン格子の各点の位置座標は既知である。またパタン格子が投影された対象を実写カメラで撮影した画像についても、キャリブレーションカメラでの撮影時と同様に背景差分で切り出したパタン格子画像に対して自動認識処理を行うことで、実写カメラ座標系上での各点の位置を知ることができる。そのため、パタン格子データと実写カメラによる撮影画像の間において、複数点についての位置座標の対応を取ることで、実写カメラ座標系からプロジェクタ座標系への変換係数  $H_i$  ( $hiq1, hiq2, hiq3, hiq4, hiq5, hiq6, hiq7, hiq8$ ) を算出する。対応点については、認識可能な全てのマーカ位置を用いて、最小 2 乗法による画像変換係数の推定を行う。

8) 画像合成変換係数  $E_i$  の算出

これまでの処理で求められた各座標系間の変換係数  $F$ 、 $G$ 、 $H_i$  を用い、 $E_i = F \cdot G \cdot H_i$  ( $i=1 \sim n$ ) の算出式に従い、実写カメラ座標系から撮影対象座標系（アクリル座標系）への変換係数  $E_i$  ( $eiq1, eiq2, eiq3, eiq4, eiq5, eiq6, eiq7, eiq8$ ) を計算する。この画像変換係数  $E_i$  ( $i=1 \sim n$ ) の算出は、各部分分割画像の撮影に用いた実写カメラ座標系ごとに行う。

9) 超高精細画像の合成

撮影対象の各部分分割撮影画像に対して、上記の手順で求められた実写カメラ座標系から撮影対象座標系への変換係数  $E_i$  を掛け合わせることで、各部分分割撮影画像のひずみが補正され、撮影対象座標系上での撮影対象の部分分割画像が得られる。各部分分割撮影画像に対して、補正を行った画像データを撮影対象座標系上でつなぎ合わせて配置することで、最終的な 1 枚の超高精細画像が合成される。図 5-1-1-7 に合成された撮影対象の超高精細画像の例を示す。



図 5-1-1-7 撮影対象の超高精細画像の合成例

### (3) 画像変換係数の自動算出方法

本手法では、変換係数  $F$ 、 $G$ 、 $H_i$  の算出時に、それぞれアクリル板の撮影画像、パターン格子を投影した撮影対象の撮影画像、パターン格子を投影した撮影対象の部分分割撮影画像に対して、マーカの自動認識、変換係数の算出等の自動処理を行う。図 5-1-1-8 はこれらの処理の流れを示したものである。各処理は以下の手順で行われる。

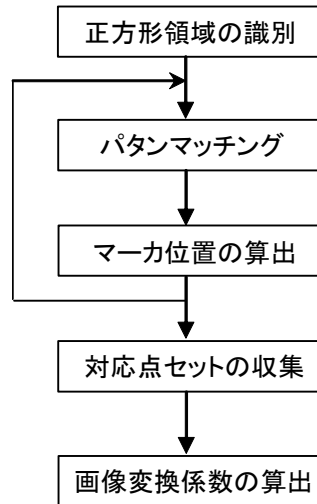


図 5-1-1-8 画像変換係数の自動算出処理の流れ

#### 1) 正方形領域の識別

本手法ではパターン格子として、正方形領域の中に各種の図形を描いたマーカを縦横に配列したものを使用する。図 5-1-1-9 は、ここで使用しているマーカ形状の例を示したものである。撮影画像内からこれらのマーカ位置を認識するためには、まず画像の中から正方形で囲まれた領域を検出する。

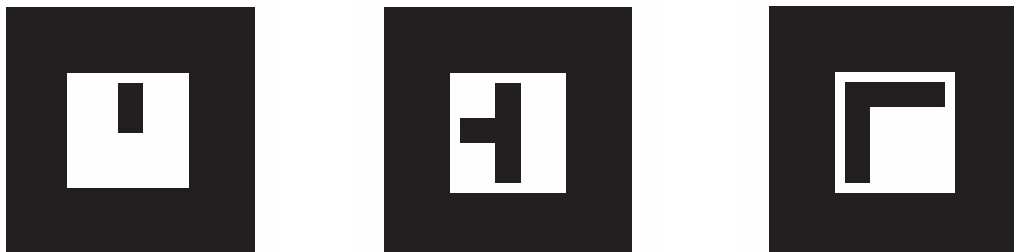


図 5-1-1-9 マーカ形状の例

#### 2) パターンマッチング

正方形領域が認識されると、次にその正方形領域の中に何の図形が描かれているかの識別を行う。この場合、元になる背景の状況によって投影したマーカ図形の一部が欠けたり、背景の色によってノイズが含まれたりする場合でも、ある程度の識別ができることが必要である。ここでは使用するマ



一カ図形をあらかじめ登録しておき、正方形領域内の図形と登録されている各図形との間でパタンマッチング処理を行い、最もマッチング率が高く一定の閾値以上のマッチングを示す図形を対象のマーカ図形であると判定する。

### 3) マーカ位置の算出

対象画像内でマーカの種類が識別されたら、次にそのマーカ位置を検出する。ここでは各マーカ図形は正方形領域内に描かれているため、識別された正方形領域の中心を各マーカの代表位置として求める方法を取った。また、登録されているマーカ図形はパタン格子の配列に従って各位置座標があらかじめ分かっているため、2つの座標系間で識別されたマーカ図形の位置の対応が得られる。

### 4) 対応点セットの収集

上記の処理を認識された全ての正方形領域に対して行うことで、対象とする2つの座標系上のパタン格子の間に複数の対応点のセットが得られる。この対応点のセットから、最小2乗法の処理を行うことで、画像変換係数  $E_i$  ( $eiq1, eiq2, eiq3, eiq4, eiq5, eiq6, eiq7, eiq8$ ) が計算される。

なお、上記の処理を行うためのプログラムは、University of Washington, Human Interface Technology Laboratory で開発された ARToolKit のライブラリを使用して開発を行った。ARToolKit の URL は次のとおりである (<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>)。

## (4) 手間の評価

### ・撮影時間

キャリブレーションパタンの設定に要する時間のみが増えるだけである。ただし半自動的にプロジェクタ照射と撮影を行うシステムを導入したため、実質的にはかなり改善できている。

### ・処理時間

マーカの認識処理に計算機性能によるが1～2分程度かかるが、人手によるプロットの手間と比較して数～数10倍程度までの開きがある。しかも人手の場合には疲労の影響なども加えれば、さらに差が開く。

### ・精度

人手のほうが予測が入るため、精度を高くできる場合もある。これも疲労などを加えると安定しているとは言えない。

## 5-1-1-3 合成画像の補正方式

絵画等の対象を撮影する際、照明をあてることになるが、その照明の色成分により、実際の絵を損なってしまう。高精細画像を実現するために分割撮影した場合、カメラ位置が各画像の撮影のたびに変更することになるため、カメラへの入光成分はすべて異なる可能性が大きい。そのため、画像を合成する際に必ずといってよいほど色の違いがでることになる。そのため、合成前に各画像の照度成分を補正し、純粋に絵の画像にする必要がある。ここでは文献[1]の手法を適用する。

具体的には、図 5-1-1-10 のとおりである。

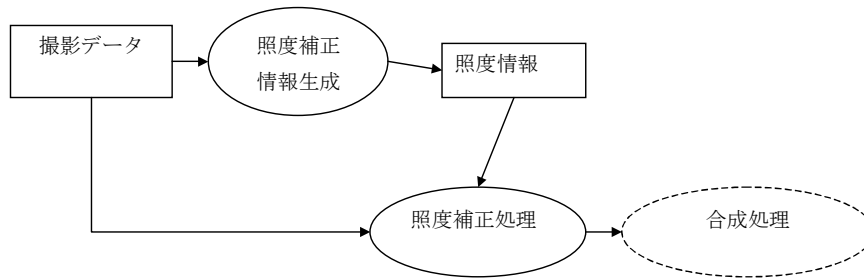


図 5-1-1-10 補正手順

各機能は次の通り。

1) 照度補正情報生成

撮影データから、絵全体における照度関数を導出する。

2) 照度補正処理

絵全体における照度関数から、絵の色を推定する。分割撮影された画像と絵の色とを比較して、近似的に照度成分を抜く。そして合成時に同一位置の色成分を全体に揃えることで、全体の照度補正を行う。補正された画像を基に昨年度開発した合成処理により高精細画像を得る。

(1) 照度補正アルゴリズム

照度補正アルゴリズムについて説明する。

照度補正をするために、照明に関する常識的な制約と画像と照明の関係に関して、以下の前提条件を満たすこととする。

1) 照明の分布は滑らか

撮影をする際に、柔らかな照明をあてて撮影する。その際、明確に照明の切れ目がわかるような照射はないものとする。実際、絵画のような美術品の撮影において照明の切れ目がわかるようなずさんなセッティングが行われることはなく、最低限守られている事項である。

2) 透過もしくは鏡面反射はない

透過もしくは鏡面反射があると色成分が混入するため、後で述べる撮影条件の制約により補正は厳しい状況になる。

3) カメラ位置の違いによる絵の色の違いは輝度成分のみが影響

同じ照明条件でカメラ位置を変更した場合についてである。透過もしくは鏡面反射がないことを前提とすると、照明条件が同じであるため、いわゆる状態が異なるのは各位置の輝度成分のみである。いわゆる無輝面については、その位置の色と照明の無輝面の合成となっているため、カメラ位置を変えたとしても混入する光がないので、変化はない。輝度についてはカメラの位置を変えた場合、その反射の問題になるため、値が変わることになる。よって乱反射等がないことを前提とすると、輝度成分を調整することでほぼ高精細な絵が構成できることとなる。

#### 4) ひずみ補正による合成部分の色の補正は合成処理に委ねる

ひずみ補正の影響でひとつの色が複数のピクセルへ展開されてしまうため、違う角度から撮影した画像と必ずしも同じ値になるとは限らない。が、近い色である。よって合成処理に委ねることで画像として遜色ないものに仕上げる。

照度補正の基本方式は次の通りである。

- ・無彩色画像の板を用意する。色をコダックグレースケールなどと比較して、明度をあらかじめ求める。
- ・部分画像を撮影する際に、同時に無彩色画像を同一位置で撮影する。
- ・撮影された無彩色画像と無彩色画像の明度の差をとり、照度分布を獲得する。照度分布はノイズ成分をもつ可能性があるため、ガウシアンフィルタをかけて滑らかに調整する。
- ・部分画像を撮影し、それから照度成分を除く。
- ・照度成分を除いた全部分画像を合成処理する。
- ・最後に理想的な照明成分を加味する。

#### (2) 手間の評価

撮影に際にしては、無彩色画像の撮影が入るため、設置に関する時間が増加する。処理に関しては全体を2スキャンする程度増加するが、ノイズ成分の処理も含めると大雑把に同程度の手間がかかる。

### 5-1-1-4 実験および改良

以上の方式に従って撮影実験を行った。撮影方法および結果から問題点が洗い出され、方式を改良した。撮影環境は次のとおり。

撮影対象： 40号程度の油彩  
カメラ： Canon EOS-1Ds  
プロジェクタ： Plus U3-1100WZ

#### (1) 自動特徴点抽出方式

##### 1) 問題点の抽出

前述の方式に従い、撮影を実施した。画像から自動特徴点抽出を行い、それに従ってひずみ補正処理を行った。本処理を実施するにあたり、キャリブレーションパターンが正しく認識できない問題点が発生した。現象面からみた問題は、次のとおりである。

- ・マーカの境界に不鮮明な部分があり、正しい座標が認識できない。
- ・絵をはみだしたマーカを誤認識する。
- ・撮影データからみて、絵の黒部分とパターン外の黒部分とのRGB値の差が小さく、パターン内外の区別をする2値化処理に用いる閾値の設定が非常に微妙であり、自動化を困難にしている。
- ・同様に黒成分が境界と重なった場合、枠の形状が崩れ、マーカの中心点の誤差が大きい。
- ・同様にマーカとして認識できないことが発生する場合、特に部分画像



の認識において特徴点が不足気味となる。

- ・ プロジェクタの照射のために、特に部分画像を撮影する際に、絵を斜めに撮影せざるを得ない場合がある。特に近接撮影にも関わらず、絵を斜めに撮影することで絵の左右上下部分でカメラとの距離が異なり、ピントが不均質である問題が発生する。絵自身の解像度バランスのみならずマーカ境界にボケが生じてしまうため、特徴点の位置の誤認識が発生する。

## 2) 改良方式

本撮影方式では、カメラデータとレファレンスパタンであるプロジェクタの双方、さらに合成画像がそれぞれデジタル化された情報を扱う。それらの解像度が不一致のため、組み合わせ的な量子化誤差が発生している。それらを慎重に除去することで精度を向上させることができる。以下説明する。

### ア) マーカの境界認識

- ・ 斜め成分のあるマーカの削除  
斜め成分のために、アンチエイリアシング処理を必要とする。そのため、他の境界成分まで本処理の影響がでる可能性があり、そもそもボケた画像はマーカとしては不適切である。
- ・ プロジェクタ解像度に合わせたマーカの作成および投影  
今回はDLPプロジェクタを活用したが、そのDMDのひとつひとつに100%の色、もしくは0%の色を正確に信号入力する必要がある。そうでないとプロジェクタの境界処理にかかり、ボケを発生させる。プロジェクタに入力する画像も、プロジェクタの実解像度に合わせる必要がある。プロジェクタの1ピクセルの誤差がデジカメでは10ピクセルもの誤差に発展するため、注意すべき事項である。

### イ) プロジェクタの投影範囲の設定

- ・ キャリブレーションパタンの撮影時生成  
少なくとも絵からマーカが完全にはみださないように、絵単位でキャリブレーションパターンを生成する必要がある。
- ・ カメラの斜め設置の改善  
プロジェクタの照射のために特に部分画像を撮影する際に絵を斜めに撮影することを避ける必要があり、できるだけピントが合う範囲で絵に対して平行に近い状態で撮影する。最近のプロジェクタはレンズの上部分を利用した正面成分のうち、上成分が多い投影を行うため、プロジェクタを高い位置から逆向きに投影することで、撮影のための絵の正面エリアを空ける。なお、プロジェクタを逆にすることでキャリブレーションパターンも逆になるため、投影時には注意が必要である。

### ウ) 絵の黒部分の差別化

- ・ マーカ部分のリアルブラック化  
黒レベルの差が少ないため、逆に絵に黒ではなく、マーカ色と同色の均質画像を照射した画像を撮影する。そしてキャリブレーションパターンを照射した画像との差の絶対値をとった画像を生成する。本処理により得られた画像は、マーカ部分のRGB値が0となる。プ

ロジェクタがいわゆるリアルブラックを照射できないどころか黒が明るいことに起因していた問題を逆利用し、黒と差別化する。実際、RGB 値として 100 程度を想定しても間違いなく、60 程度（ただし撮影およびプロジェクタ照射距離による）の閾値設定をして 2 値化処理を施すことで認識が可能となる。認識形状の崩れもかなり改善できる。マーカの境界付近ではノイズが明度の落差が激しいために発生する可能性もある。そこで、安全のために境界の均質化処理も施すこととした。

#### エ) 特徴点不足

- 中点ではなく外枠の点の活用

それでも認識ができない場合、特に部分画像の撮影時には特徴点が不足する。また外枠に質の悪い点が含まれると、中点の位置が崩れることがある。そこで、中点ではなく外枠の点を特徴点候補として抽出し、それらの点から線形回帰を行って得た直線との距離の差が少ない点を活用することで、質の高い特徴点を多く抽出する。

### (2) 合成画像の補正方式

#### 1) 問題点の抽出

撮影にあたり、次の大きな制約条件が付加される。

- 照度分布の撮影は、全体に対する 1 回の撮影のみしか許されない。

絵画等美術品の撮影をするにあたり、コンテンツホルダーの立会いが必要となるケースが多いと考えられる。そのため、撮影時間を非常に短時間にする必要がある。照度補正をするためには照明成分を撮影単位で求める必要があるため、無彩色パターン撮影が各撮影角度で必要となる。しかし、そのような作業を毎撮影単位で行うと、時間を多く費やしてしまう。さらに、キャリブレーション結果を維持するために絵画の表面に無彩色板を置く必要があり、実質的に難しい状況である。それを近似的に改善する方式を開発した。

#### 2) 改良方式

全体画像から近似して照度分布を求める。位置情報から照度分布を計算するためには、照明に関する制約事項が多く、今回は近似手法を得るに留めた。次のとおりである。

- 照度分布の獲得

アクリル板に貼付した下絵の無彩色画像の色を、コダックグレースケールなどと比較して求める。それをもとに、理想的な画像データを作成する。次にその絵を撮影し、座標変換して得た画像との差分をとり、照度分布を獲得する。

- 全体画像（低解像度画像）の照度補正データの獲得

全体画像から照度の明度成分を除くことで、照度補正データを獲得する。

- 全体画像、部分画像（高解像度画像）の座標変換

昨年度の方法に従って座標変換を行う。

- ・全体画像による部分画像の照度成分の獲得  
座標変換されて得た照度補正済み全体画像データと座標変換された部分画像データの差分を求め、高解像度の照度成分を獲得する。
- ・照度成分の平滑化  
照度分布は滑らかであるという性質を活用して、ガウシアンフィルタを施して、部分画像の照度成分を補正する。
- ・平滑化された照度成分による部分画像の照度補正データの獲得  
補正された照度成分の明度成分を除くことで、部分画像の照度補正データを獲得する。

### 5-1-1-5 まとめ

まとめと課題を、以下に記す。なお、撮影実験に際しては、佐藤佳克画伯のご協力を得た。ここに謝辞を述べる。

- ・処理時間も含めて、人手による場合よりかなり改善できることがわかった。
- ・自動特徴点抽出を高精細画像生成に適用するためには、かなり繊細なパラメータが多いことがわかった。量子化誤差が伝播するため、特にプロジェクタが正確にボケのない画像を表示することが必須であることがわかった。
- ・デジタルカメラの場合、アナログカメラと異なりアオリが適用できないため、カメラに関しても被写界深度なども活用し、絵全体で均質にピントが合うようにする必要がある。そのため、プロジェクタの設置位置もカメラ位置を優先して、高い位置から照射する撮影環境を構築すべきである。
- ・計算時間に関してはアーキテクチャに合わせたいいわゆる画像処理ではなく一般的な計算に留めているため、高速化する余地は十分に残っていると思われる。特に画像処理、撮影処理などいわゆる IT の最先端技術を適用することで、処理時間、転送時間、撮影時間から精細度に至るまで改善が可能であることがわかった。
- ・油彩の場合、面が立体的な箇所があり、キャリブレーションの妨げにもなっている。また照明も照らし方が悪いと影が発生し、照度補正に影響する可能性がある。
- ・照度補正は、近似となっているため、高精細に撮影した結果とのバランスが気になる。現状、明度成分に敏感な緑成分の色に注意が必要となっている。
- ・さらに実証実験を通して、問題点を明らかにしていくこと、処理速度、撮影速度を向上させることが必要である。照度補正に関しては撮影方法に工夫を加え、近似しない計算が可能となることが望ましい。

#### 参考文献

[1] 鈴木、小林：市販デジタルカメラによる資料撮影と色値推定の試みーデジタルアーカイビングに耐える色彩画像を考えるー、情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集（2001）。

## 5-1-2 色補正処理

### 5-1-2-1 序論

#### (1) 概要

高精細画像を再現するにあたっての重要なポイントはカラーマッチングである。現在、撮影においてフィルムカメラがデジタルカメラへ移行し、データ入力においてスキャナが急速な進歩を果たしつつある。データの流通においては、ブロードバンドの急速な普及により、ポジフィルムでの流通が、データ送信に変わりつつある。出力においては、オフセットやグラビアを中心とした印刷に、プリンターによる出力が大きな位置を占めつつある。

従来からの印刷方式であるオフセットやグラビア印刷では、印刷所におけるコンテンツの集中管理下において、カラーマネジメントがなされてきた。また、印刷機におけるカラーマッチングに関するワークフローも長年の技術蓄積があり標準化されている。

しかし近年の高細密な入出力機器の出現とネットワークによる分散処理される状況の出現に対し、標準化されたカラーマネジメントシステムの確立がなされていない。

#### (2) 現状

- 機器の進歩がこの数年にあまりに急速であったこと。

入出力機器の進歩が急速であり、各機器のモデルチェンジも早く、能力もその都度上がるがゆえに、カラーマッチングにおいて各社、各機器の枠を越えた標準化をするという考えに至らない状態が続いている。

- 機器のコストダウンにより入出力とも急速に分散型になり、プロの技術者以外も入出力に携わるようになってきていること。

スキャナの能力は2400dpiを越えたものが数万円以内という安価で入手できるようになった。このdpi数は反射原稿においては、精密な出力に十分な能力を持っている。フィルムスキャナにおいても、dpi数が大幅に上がり、コストは逆に大幅に下がっている。またデジタルカメラでも同様の傾向が続いている。この状況で、印刷の専門職でない者が簡単に入出力に携われるようになってきている。

またブロードバンドの普及により、誰でも高細密な画像データをダウンロードし、利用することもすることも技術的には容易になってきた。かつては、オフセットやグラビア方式の印刷を対象に、印刷会社内のプロのみが行った入出力作業が、素人の手によりそれに準ずるクオリティが得られるようになってきたのである。

このような状況下、各入出力機器で、プロユースレベルのカラーマッチングが容易になれば、コンテンツの流通が増加し、様々な用途への利用が促進されると思われる。この事実は新しい分散型のコンテンツ関連市場創造の可能性を示すものである。

- RGBとCMYK両データが混在し、流通していること。

RGBのデータは、CMYKのデータより色帯域が広い。言い換えればC

MYKデータよりRGBのデータは、多くの色の階調を持っている。よってデータの保存は、入力時のRGBデータのまま保存しておけば、より再現性の高い出力機器が開発された場合、より高細密な表現の可能性があると言える。

ところが、最も普及している印刷方式であるオフセットやグラビアでは、CMYKの製版を基本とするため、工程の早い段階で画像データはCMYKに変換、統一され、流通するのが一般的である。

つまりデータをアーカイブして保存するには、印刷工程で使用されたCMYKはふさわしくないとと言える。もちろんCMYKのデータをRGBに再変換することは可能であるが失われた色帯域は元に戻ることはない。

近年まで、データとして保存されているコンテンツの多くは、印刷用に加工されたCMYKデータである。よってこれからの画像データはRGBによる保存を基本とすべきである、この基準の確立が必須である。

- インクジェットプリンターの進歩により出力用紙のバリエーションが急増し、その色再現特性の研究が必要となったこと。

インクジェットプリンターを中心とする最近の出力機器では、様々な用紙による出力が可能となった。従来のオフセット印刷における高精細な再現がコート系の用紙に限定されるのと大きな違いがある。

例えば、日本古来の和紙を中心とするマット系の用紙においての再現では、インクジェットプリンターは、オフセット印刷での色の再現を完全に凌駕している。また、屋外用のテント生地、テキスタイルにも使用できる布、ディスプレイなどに使える透明フィルムやミラー系メディアなど、多種多様な用紙の使用が可能である。

この事実は、画像データのワンソースマルチユースの可能性に大きな期待を持たせる。

ただし、これだけの高品位な再現できるインクヘッドやプリンタドライバの開発はごく近年のことであり、用紙に対する再現研究は途についたばかりである。

一方、カラーマッチングに関する研究は、入出力機器メーカーごと機器単位でなされているが、分散型のワークフローにおける入力から出力までを総合化した研究は、各関連学会を含め、充分なされているとは言い難い。

例えば、印刷学会が中心となり開発が進んでいる JAPAN COLEAR というカラーマッチングの標準化システムがあるが、対象はオフセット印刷である。現在開発中のプリンターに対しての JAPAN COLEAR のシステムもオフセットに対するプルーフのためのものである。

## 5-1-2-2 撮影時に生成されるデータの発色特性

高精細デジタルカメラ・フェーズワンで生成される陰影の階調は極めて良好である。それは付帯して撮影しているグレートーンチャートで確認。フィルム撮影に比して良好である。一方、コントラストはやや軟調である。これらの特性は作品の傾向を問わず共通であった。軟調傾向が見られる原因は周辺光をゼロにできないというレンズの設計の問題と思われるが、レンズの精度を上げるといふ解決策よりは、撮影データの特性を見極めた自動補正機能の開発とい

う方策を選択する方が、解決は早いと思われる。今回の出力用データのカラーマッチング処理では、コントラストを 10～30%の範囲で上げることによりほとんど解決が可能であった。

### 5-1-2-3 保存～配信時におけるカラーの劣化要因の有無

保存～配信に至るプロセスの劣化要因は、人的ミスに集約される。撮影時に生成されたデータ、例えばフェーズワンで撮影されたデータのビット数をコンテンツをプリントする際、現状の PC の能力からオペレーターが 8 ビット等に落として加工する可能性は否定できない。これらの加工は、一次保存以降のワークフローにおいて随時行われる可能性があり、コンテンツ流通のプロセスでのチェック要因である。保存用データと加工されたデータの混在を防ぐワークフローの標準化が必須である。一方、一次保存のプロセスにおいて、担当者へのデータに関する啓蒙がなされていない場合、元データの標準的ファイル形式すら置き換えてしまう可能性も否定できない。よって人為的ミスによる劣化を防ぐためのコンテンツ流通のワークフローを確立し、そのマニュアル化が必要であろう。

### 5-1-2-4 メタデータとすべき項目の抽出

メタデータ項目の標準化は、アクセシビリティ (accessibility) 向上の面から重要である。

国際博物館会議 (ICOM) による International Guidelines for Museum Object Information (博物館資料情報のための国際指針)、また国際標準化機構 (ISO) の TC46 委員会から提案されている Conceptual Reference Model (概念参照モデル) 等の国際標準を目指した動きがある。一方様々なコンテンツに対応するため、博物館、美術館等コンテンツホルダーごとのメタデータはカスタマイズを避けるわけにはいかないという実情がある。よってメタデータのモジュール化が最も現実的な解決策と思われる。文化施設の既存分野を越えた検索、コンテンツ流通を実現するためには、図書館、文書館のメタデータの相互利用も視野に入れた Dublin Core Metadata Element Set (DCMES) も、もちろんモジュールの対象である。

アルタイズ MA の、メタデータ項目の基本的項目は、メタデータのモジュール化を視野に入れ開発されているが今後の課題として、データのウェブ上への簡便な書き出しが機能として組み込まれていないことが上げられる。

### 5-1-2-5 出力時における各出力デバイス固有の発色特性

- ・ ヒューレットパッカード社 Design Jet5500

ハイコントラストで、黒が目立つ発色特性を持つ。明暗がはっきりする傾向がありフェーズワン撮影時に生成されるデータの発色特性である軟調傾向をある程度補完する。しかし、コントラストを落とすデータ加工を施しても限界があり日本画のような繊細な色調変化にはやや不向きである。

- ・ エプソン社 PX9000

基本的にはフェーズワン撮影時に生成されるデータの発色特性である

軟調傾向をそのまま再現する。赤色の再現において日本の朱色がやや洋風のピンクを感じさせる深紅に置き換わることがあった。またPXインクの特徴として、彩度が高くなる傾向が見られる。しかし研究全般において色相のぶれは少なく、カラーマッチングは、PXインク以前の顔料プリンター、あるいはDesign Jet5500に比べるとはるかに容易である。

- ・ ミマキ社 TX1600

上記2種の顔料プリンターに比べて彩度が低く再現される傾向にある。プリントアウトの後の捺染後処理（蒸気による加熱処理）の後は彩度の向上が見られた。コンテンツ流通において布への展開は、インテリアや服飾分野を中心とする。よって複製というカテゴリーを越え、新しいプロダクトとして位置づけられるならば、十分なクオリティを持った発色特性と言える。

### 5-1-2-6 紙、その他出力メディアによる発色特性

- ・ 光沢系メディア

概して硬調、ハイコントラストになる特性を持つ。ピクトリコ・ハイグロスの発色は光沢系で最高品質の発色結果を得た。

- ・ マット系メディア

概して軟調、低コントラストになる傾向を持つ。マット洋紙メディアの同クラスを比すると各社メディアに大きな差異はなかった。和紙は黄変し、滲む傾向を併せ持つ。絵画作品の再現としてはマット洋紙系メディアが最も無難な仕上がりであり、黄変、滲みという一見再現に対するマイナス要因を持つ和紙であるが、その風合いから日本画という領域のコンテンツには大きな可能性を見いだせた。コントラストを10~30%上げ、彩度を0~40%上げ、黄変する色相をシアン、マゼンダ等とのバランスを取ることを行い、さらに作品の傾向により部分的な調整を加え、イシカワ軸装用和紙に出力した場合最高品質の結果を得られた。特に狩野派の作品にその結果が顕著であった。

- ・ キャンバス系、ターポリン、シルバーフィルム

これらのメディアはテクスチャの個性が強く、再現性が優れるものではない。しかしそれぞれの独特な風合いからインテリア、エクステリアなどの空間デザインにおいて新しい表現として大きな可能性を持つメディアと言える。

- ・ 布系メディア

すべて彩度、コントラストとも低い傾向である。ミマキ社 TX1600 による綿布、シルクへの出力、PX9000 によるキャンバスクロス等への出力も同傾向である。よって正確な複製品制作というカテゴリーでは布の選択は困難ではあるが、上記キャンバスクロス、ターポリン、シルバーフィルム同様コンテンツ活用において新たな領域を開発する可能性を持つ。

なお、出力実験には以下のメディアを使用した。

- ・ Hewlett-Packard Studio Canvas
- ・ Hewlett-Packard Half-Gloss Paper
- ・ Hewlett-Packard Matte Paper

- Pictorico Hi-Gloss
- Pictorico Velvety
- Sakurai Canvas
- Sakurai Matte Synthetic Paper
- Sakurai IJ Tarpaulin
- Too Canvas Cloth
- Too Washi White
- EPSON PX/MC Premium Matte Paper
- EPSON PX/MC Cotton Paper
- ISHIKAWA Washi
- Silk cloth \*
- Cotton fabric \*

\* 布2種については後処理加工も行う。

### 5-1-2-7 まとめ

コンテンツの流通過程においてカラーマネジメントを行うためには、データの生成段階から、最終出力に至るまでの過程における発色特性を把握することは重要である。本年度は、昨年度に引き続き、撮影時における発色特性と、出力時におけるデバイス毎、メディア毎の発色特性について実際に確認をすることができた。

また、画像を扱うにあたりメタデータとすべき項目に関して、現在使用されている画像データベースにおいてはコンテンツ流通の観点からは十分な項目となっていないことを確認した。

### 5-1-2-8 使用作品

出力実験には以下の作品のデータを使用した。

大覚寺「牡丹図」狩野山楽  
 萬福寺「釈迦図」狩野探幽  
 相國寺「竹林猿猴図屏風」長谷川等伯



### 5-1-3 質感表現三次元データ生成処理

#### 5-1-3-1 序論

##### (1) 概要

コンテンツ（歴史文化資産や文化財など）を蓄積（デジタルアーカイブ）あるいは効率よく検索を行うためには、コンテンツを説明する情報（メタ情報）が必要不可欠となってくる。ここでのメタ情報は、外部情報と内部情報の2つに分けて考える。外部情報とは、コンテンツに対する歴史的背景、地理的情報、関連研究情報などコンテンツを説明するため情報である。また内部情報とは、色特徴、形状特徴などコンテンツを解析することにより得られる物理特徴を示したものである。この内部情報を対象として、超高精細コンテンツデジタル化を目指し物体表面の微細構造の解析と質感表現を可能とする技術開発は急務となっている。

##### (2) 現状

本研究開発に関連するプロジェクトとしては、米国コロンビア大学 Nayer 教授が進める“質感解析プロジェクト”における、BRDF データ収集や、東京大学生産技術研究所における佐藤助教授が進める、Image-Based-Rendering 研究での光源制御を可能としたテクスチャ表現などがある。これらの研究のターゲットは、人工的なデータ生成(Computer-Graphics)におけるリアルな映像表現にある。また、本研究開発テーマが対象とする精細度が極めて高く、またデジタルアーカイブへの展開を目指したコンテンツ表現とは異なるが、研究方法論およびデータ収集・解析において参考とする所は多い。

##### (3) 研究開発項目

本研究開発においては、下記2つのサブテーマを設定し、研究開発を進めた。

###### ① 質感データ入力とその処理モデルの検討

各種画材（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データ収集と基本データ分析のアルゴリズムの研究開発。

###### ② 質感表現手法の検討と具体的システム化の検討

裸眼立体視覚に基づく、立体表示のためのプログラムライブラリの開発と、表面の形状（ザラツキ感、細部凹凸形状）と高階調の色調表現を実現するための3次元データ入力および、3次元形状復元アルゴリズムの研究開発。

#### 5-1-3-2 光源位置の変化に伴う物体表面の見え方

布（キャンバス）や壁面など光の反射特性的に異方性のある対象については、金属やプラスチックのような反射モデルは使えない。ここでは、光学的反射モデルを用いずに、視点位置・光源位置を変化させることにより物体表面の質感表示を行う。すなわち1対象に対して複数枚の画像を用いる方法“Image-Based Renderingによる物体表面の生成”を検討する。

### 5-1-3-2-1 Image-Based Rendering による物体表面の生成

Image-Based Rendering (IBR) は、対象に関して幾何モデルを用いずに、対象を撮影した複数枚の画像を利用して、新たな画像を生成する技術である。

[光源位置の推定]

IBR では、光源位置、対象の形状を明確に求めることなく、物体表面の見え方を生成することが可能である。しかしながら、仮想的な光源位置を設定したときに、その光源位置において物体表面がどのような見え方になるかを知るためには、撮影時の光源位置の推定が必要である。ここでは、以下のようにして、物体の陰影情報から光源位置の推定を行う。

[Step1:] カメラキャリブレーションにより、カメラパラメータを取得

[Step2:] キャリブレーション物体(釘)の位置を変え、数枚の画像を撮影

[Step3:] キャリブレーション物体の影と実寸値から光源位置を推定

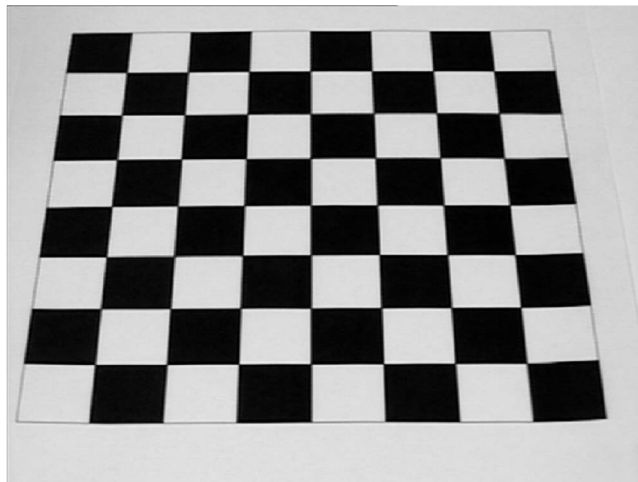


図 5-1-3-1 キャリブレーションパターン

Step1 におけるカメラキャリブレーションは、図 5-1-3-1 に示すような平面パターンと Tsai によるカメラキャリブレーション手法を利用する。カメラキャリブレーションにより、カメラの内部パラメータ(焦点距離、レンズ歪み)と外部パラメータ(回転( $R_x, R_y, R_z$ )、平行移動( $T_x, T_y, T_z$ ))が求まる。

Step2 では、キャリブレーション物体(釘)の位置を変え、図 5-1-3-2 に示すような 3 枚の画像を撮影した。

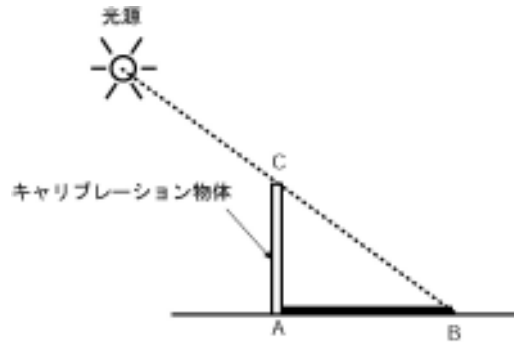
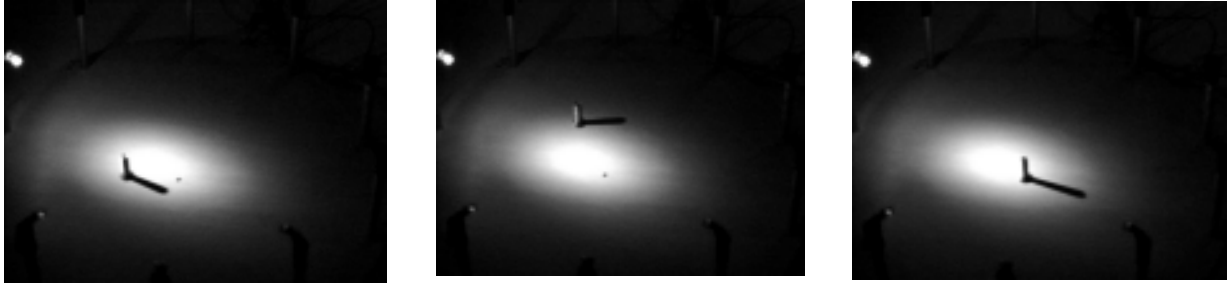
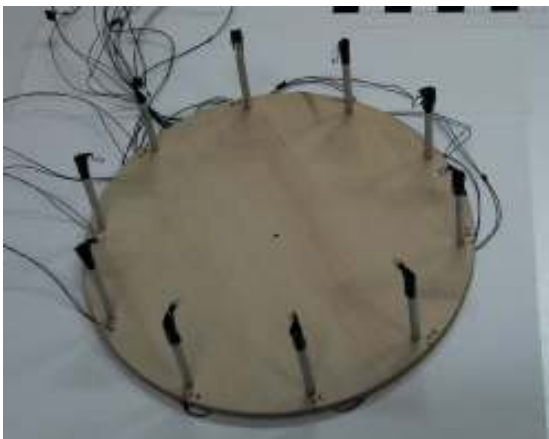


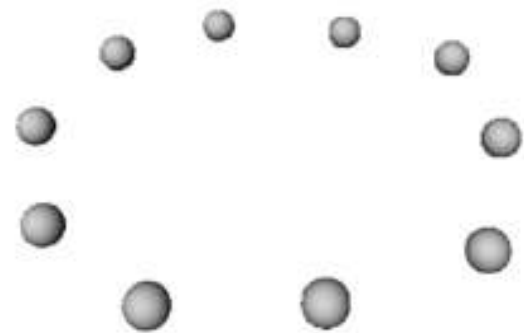
図 5-1-3-2 光源位置の推定

Step3 では、撮影した 3 枚の画像から光源位置を推定する。光源位置の推定方法は、図 5-1-3-2 に示すように、キャリブレーション物体(釘)の位置 A、陰影の先端 B、釘の長さ C とカメラキャリブレーションで求めたカメラパラメータを用いる。図中、A, B, C の 3 次元座標点は、カメラパラメータから求めることができるので、光源から点 C と通る直線 BC を引く。したがって、2 枚以上の撮影画像からそれぞれ直線 BC を求め、それらの直線の交点が光源位置となる。

実験では、図 5-1-3-3 に示す、白色 LED を周囲に 10 個配置した光源装置を用い、各 LED を 1 つずつ点灯させることで、上記方法によって光源位置の推定を行った。



(a) 光源装置



(b) 推定結果

図 5-1-3-3 光源位置の推定

### 5-1-3-2-2 IBR による画像生成

光源位置の推定結果をもとに、布を対象にして、白色 LED を 1 つずつ点灯させながら、図 5-1-3-4(a) (b)に示す入力画像を 10 枚撮影する。ただし、カメラ位置は固定である。



図 5-1-3-4 入力画像

撮影した 10 枚の画像を用いて、仮想的な光源位置における物体表面の見え方を生成する。それには、2 枚の画像と線形和を利用することにより中間画像を生成する。具体的には、カメラ位置が固定であるため、撮影された画像間において、画素のずれがないと仮定して中間的な見え方（画像）を生成する。

### 5-1-3-2-3 質感表示インタフェース

IBR により生成した画像を呈示するための表示インタフェースについて検討する。

上記の実験では、光源を対象に対して白色 LED を周囲に配置している。利用者の回転操作により光源位置を任意に制御できるような入力デバイスを用いて、光源の角度変化に伴う物体表面の見え方(陰影)を表現する。ここでは入力デバイスとして任意に角度を入力することが可能なデバイスで用い、IBR により生成した画像を表示するブラウザを作成した。



図 5-1-3-5 質感表示ブラウザ

### 5-1-3-3 まとめ

- ① 質感データ入力とその処理モデルの検討においては、限定された実験室内（暗室）でのデータ収集を完了した。今期の成果とその効果は、質感データ入力のための可変角度による光源制御と反射光受光方式を確立し、各種材質（顔料、染料、墨朱）及び各種素材（紙、布、石膏・粘土など）のマルチスペクトル光源に対応した基本反射特性基本データからの、双方向性反射特性モデルを作成した。ここでの質感データ入力システムとして、平成14年度導入のゴニオフォトメータを用い、実験室段階でのBRDF: Bi-directional Reflectance Distribution Function情報の収集が可能となった。
- ② 質感表現手法の検討と具体的システム化の検討については、質感表示を実現する手法の開発を先にすすめた。ここでは、裸眼立体視ディスプレイによる表示と、Image-Based Renderingによる物体表面の生成からの質感表現に絞ったシステム化を先に進めた。これにより、視点変化に対応した3次元物体表示と、光源位置の変動に対応した質感表示を行った。

#### 5-1-4 コンテンツ収集

本研究開発を進めるにあたり、各研究課題での検証等に必要となる画像コンテンツの収集もあわせて行っている。ただし本年度のコンテンツの収集に当たっては、撮影時期の都合上5-1-1の合成法による撮影ではなく、市販のラインセンサ方のデジタルカメラを用いて撮影を行っている。

撮影にあたっては、研究開発の目標から被写体としては比較的大きいもので且つ細かな描写・細工が施されており、色彩が豊富なものが適している。さらに、実証実験としても実際の優れた文化財を対象とすることが重要である。

特に今回は、本研究の成果をより明確にするため、形状・色彩の異なる多種にわたる文化財を選定した。

相国寺、大覚寺、天龍寺、萬福寺はこのような条件に合致した優れた文化財を保有しており、本研究の主旨の賛同と協力を得ることができた。以下に本年度撮影を行ったコンテンツの一覧を示す。

表 5-1-4-1 平成15年度撮影コンテンツリスト

No.	所蔵寺院名	作品名	作者	形状	部分位置	寸法(cm)
1	相國寺	花鳥図	兪増筆	掛軸(一幅)		169.5 × 101.1
2	相國寺	鳳凰石竹図	林良筆	掛軸(一幅)		163.0 × 96.0
3	相國寺	夢窓疎石頂相	夢窓疎石賛	掛軸(一幅)		114.5 × 59.0
4	相國寺	鳴鶴図	文正筆	掛軸(双幅)	左	181.3 × 85.2
5	相國寺	鳴鶴図	文正筆	掛軸(双幅)	右	181.3 × 85.2
6	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	左隻(左より1)	154.0 × 361.8
7	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	左隻(左より2)	154.0 × 361.8
8	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	左隻(左より3)	154.0 × 361.8
9	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	右隻(左より1)	154.0 × 361.8
10	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	右隻(左より2)	154.0 × 361.8
11	相國寺	竹林猿猴図屏風	長谷川等伯	屏風(六曲一双)	右隻(左より3)	154.0 × 361.8
12	萬福寺	釈迦図	狩野探幽	掛軸(一幅、絹本着色)		128.2 × 47.2
13	萬福寺	文殊菩薩図	狩野探幽	掛軸(一幅、絹本着色)		128.2 × 47.3
14	萬福寺	普賢菩薩図	狩野探幽	掛軸(一幅、絹本着色)		128.2 × 47.4
15	萬福寺	織錦観音大士像	—	掛軸(一幅)	三分割(上より1)	328.4 × 114.7
16	萬福寺	織錦観音大士像	—	掛軸(一幅)	三分割(上より2)	328.4 × 114.7
17	萬福寺	織錦観音大士像	—	掛軸(一幅)	三分割(上より3)	328.4 × 114.7
18	萬福寺	織錦観音大士像	—	掛軸(一幅)	全体	328.4 × 114.7
19	萬福寺	五百羅漢図	池大雅	掛軸(四幅)		180.0 × 115.0
20	萬福寺	五百羅漢図	池大雅	掛軸(四幅)		180.0 × 115.0
21	萬福寺	五百羅漢図	池大雅	掛軸(四幅)		180.0 × 115.0
22	萬福寺	五百羅漢図	池大雅	掛軸(四幅)		180.0 × 115.0
23	天龍寺	観世音菩薩図	伝呉道子	掛軸(一幅、絹本着色)		165.0 × 56.7
24	天龍寺	白衣観音図	不明	掛軸(一幅、絹本墨画)		212.0 × 124.2
25	天龍寺	龍図	不明	掛軸(一幅、絹本墨画)		173.3 × 103.3
26	天龍寺	虎図	不明	掛軸(一幅、絹本墨画)		173.3 × 103.3
27	天龍寺	芙蓉図	伝呂紀	掛軸(一幅、絹本着色)		43.1 × 67.4
28	天龍寺	葡萄図	温日観禅師	掛軸(双幅、絹本墨画)	左	50.1 × 77.1
29	天龍寺	葡萄図	温日観禅師	掛軸(双幅、絹本墨画)	右	50.1 × 77.1
30	大覚寺	嵯峨天皇図	—	掛軸(一幅、絹本着色)		121.1 × 68.1
31	大覚寺	後宇多法皇図	—	掛軸(一幅、絹本着色)	(鎌倉時代)	80.3 × 43.0
32	大覚寺	後宇多法皇図	—	掛軸(一幅、絹本着色)	(室町時代)	92.8 × 53.8
33	大覚寺	牡丹図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
34	大覚寺	牡丹図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
35	大覚寺	牡丹図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
36	大覚寺	牡丹図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
37	大覚寺	紅白梅図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
38	大覚寺	紅白梅図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6
39	大覚寺	紅白梅図	狩野山楽	襖(八面中四面)		184.0 × 98.6

## 5-2 【課題イ】ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術の研究開発

### 5-2-1 コンテンツの階層的な蓄積方法

#### 5-2-1-1 序論

##### (1)概要

超高精細デジタルコンテンツは、コンテンツの流通におけるマスターデータとして位置付けられる。

マスターデータには、記録・保管の側面で、なるべく多くの情報量を記録することが要求される。しかし、利用の側面では、高精細画像データをそのまま全てのデータを再利用することは少ない。例えば、利用者からインデックス画像が求められる場合、マスターデータが持つ超高精細の膨大情報は、最終的に縮小されて、ほとんどの情報が破棄されることになる。また、利用者から画像のディテールが求められる場合も、出力デバイスの制約から全ての情報が同時に使用されることは少ない。こうした高精細デジタルコンテンツの内部情報を、ディスクから読み込みやネットワークで転送する際になるべく抑制してユーザに必要な部分データのみを効率よく提供することが求められる。

既存の解像度多重フォーマット (FlashPix が代表的なものとして挙げられる) が設計された時期は比較的早く、今日のようなネットワークにおけるデータ・ストリーミングの向けの仕様ではなく、限られたリソース (解像度の低いテレビ受像機や非力なパーソナルコンピュータで、複雑な計算を必要とせずにデバイス毎に異なる解像度のデータを直接的に出力できるよう設計された。そのため解像度の情報が冗長的になっているなど、超高精細デジタルコンテンツの蓄積方法として適合していない。

本研究開発では、これらの既存フォーマットが抱える課題を踏まえて、超高精細デジタルコンテンツの解像度多重化構造を設計すると共に、コンテンツの再利用に欠かせない画像の拡大・縮小品質を検証して総合的に効率的な情報提供を可能とする蓄積方法の設計開発を行う。

##### (2)現状

既存の階層的なコンテンツの蓄積方法として、JBIG フォーマット、Flash Pix フォーマット、ピラミッド JPEG フォーマット、MrSID フォーマット、JPEG2000 フォーマット等があげられる。

このうち、JBIG は 2 値画像用であるためそのままでは自然画像には適応できない。また、FlashPix やピラミッド JPEG、MrSID 等の設計された時期は早く、まだハードウェアのスペックも低い時代であったことから、今日のような広帯域ネットワーク環境における処理速度よりも、メモリーの消費量を抑えたり、セットトップボックス上でのデコード処理に、なるべく複雑な演算処理を不要としたりできる設計になっている。このため各階層のデータを冗長的に保持する必要があるなど、大容量の高精細画像コンテンツの保存 (アーカイブ) や転送 (活用) における効率があまり高くない。

以下に、各解像度多重フォーマットの特徴を示す。



## JBIG

JBIG は主に FAX の G3/G4 の通信フォーマットとして利用されている。各解像度画像をレイヤと呼び、2 段目以降のレイヤは差分による情報保持を行っている。低解像度画像の情報を予め設定されたコンテキストに応じて分解し、マルコフモデル符号化による圧縮を行っている。2 値画像向けであり、自然色による絵画や写真などの画像データには適応できない。

## FlashPix

FlashPix は、Microsoft 社、Kodak 社、Hewlett-Packard 社、Live Picture 社が共同で開発した解像度多重型の画像フォーマットである。複数の解像度データを、1 つのファイル内に階層的に保持し、出力デバイスに応じた適切な表示を可能としている。たとえば、テレビ用のセットトップボックスでは低解像度画像データを、また、プリンタに出力するときには高解像度画像データをとように使い分けることができる。当時の設計思想において、出力デバイス上の計算処理を軽減するために解像度の階数や、各解像度のサイズ、圧縮方法などが決められている。このため、専用機向けの規格化された CD-ROM などによる流通が主流であり、ネットワークによる配信用途にはあまり利用されていない。

## ピラミッド JPEG

ピラミッド JPEG は、JPEG の拡張規格で定義された画像フォーマットである。高精細画像データから、インデックス画像のような縮小画像データを高速に呼び出すために、階層型処理されている。圧縮率は JPEG の量子化テーブルが 3 段階に固定で設定されており、低品位高圧縮、中位圧縮、高品位低圧縮が用意されている。高品位モードで約 1/10 程度の圧縮率である。画像品質には高圧縮向けに設計された JPEG 圧縮アルゴリズムに特有のモスキートノイズなどが生ずることからマスターデータとなる超高精細画像データには適応できない。

## MrSID

MrSID は、米国のロスアラモス研究所で開発された解像度多重型の画像フォーマットである。圧縮方式は、Wavelet 変換が採用されており、複数の解像度データを 1 つのファイルの中に収めている。画像データをタイルに分割して構成している。このため画像を拡大表示する際、画面表示に必要な部分のデータを読み込んで表示することができる。その結果、狭帯域ネットワーク上でも高速なデータ転送を実現している。ただし、圧縮に用いている Wavelet 変換処理が複雑であるため利用環境が限られている。

## JPEG2000

JPEG2000 は圧縮方式には、離散ウェーブレット変換 (DWT) 方式がロスレス/ロッシェの圧縮方式として採用されている。これまでの JPEG 圧縮/伸張方式との間の互換性はない。

JPEG2000 では DWT の実装方法として可逆フィルタと非可逆フィルタが採用された。これらのフィルタ処理は、画像データ全体をメモリーに読み込まず、画像データを 5 行あるいは 9 行ずつ順次メモリーに読み込むことでメモリー消費量が抑えられている。ただし、このフィルタは縦横の各方向に 1 回ずつ解像度多重

化の階層数分繰り返し実行される。このため処理速度が遅く利用環境が限られている。

以上のように、既存の画像フォーマットの多くは、解像度方向と色深度方向双方に対する多重化は実現しておらず、この分野で求められるニーズに必ずしも適合しているとは言えない。またハードウェアスペックが低い時代に設計されたものが多く、表示や保存などのハンドリングに必要な時間よりも RAM 消費量を抑える設計となっているため実運用上ではコンテンツ取扱のボトルネックの要素となる場合が多くある。

### 5-2-1-2 解像度多重化フォーマット的设计

解像度ならびに色深度多重化フォーマットの仕様を検討し、プロトタイプ開発をおこなった。基本的な要求する性能は、マルチレゾリューション(解像度多重)、マルチ品質レベル(ロッキー/ビジュアリ・ロスレス/ロスレス)、抽出画像の品質向上、マルチビット、マルチチャンネル、色空間の対応、拡大画像の品質向上とし、既存の解像度多重のフォーマットと色深度多重のフォーマットを調査して検討を行った。

この調査に基づき、コンテンツの階層的な蓄積方法の基本構造は、既存のフォーマットにも見られるようなパネル分割型のピラミッド構造とした(図5-2-1-1)。すなわち、先ず元画像をパネルに分割して各々のパネルを辺比1/2倍で縮小した画像データを生成し、この各中間階層を一段低い解像度データからの差分データとすることを基本的な構成とした(図5-2-1-2)。これにより低解像度画像から高解像度画像へ向けた利用者の画像要求に応じて、都度、注目している画像領域に必要な最小なデータの伝送が可能となる。

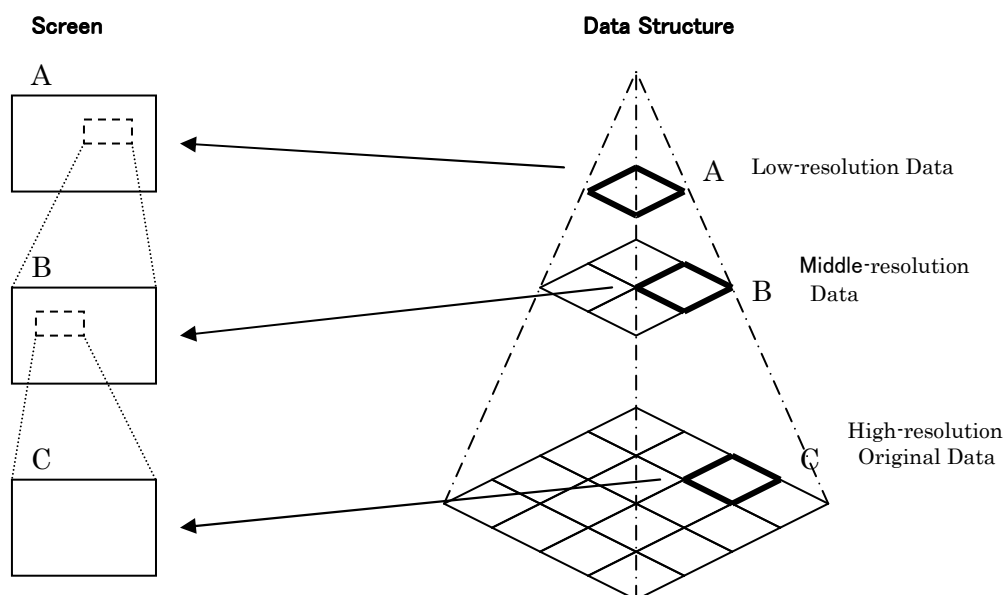


図 5-2-1-1 パネル分割型ピラミッド構造のコンテンツ蓄積方法

ここで、本研究開発では、解像度の縮小化処理に応じて色深度レベルの有効性の低い部分データを合わせて取り除くことにより、更に転送効率や圧縮効率の向上を目指した。

また、対象が超高精細コンテンツであることから縮小画像においても画質を損なわず、直接的に再利用可能なデータとなるよう生成方法を検討した。

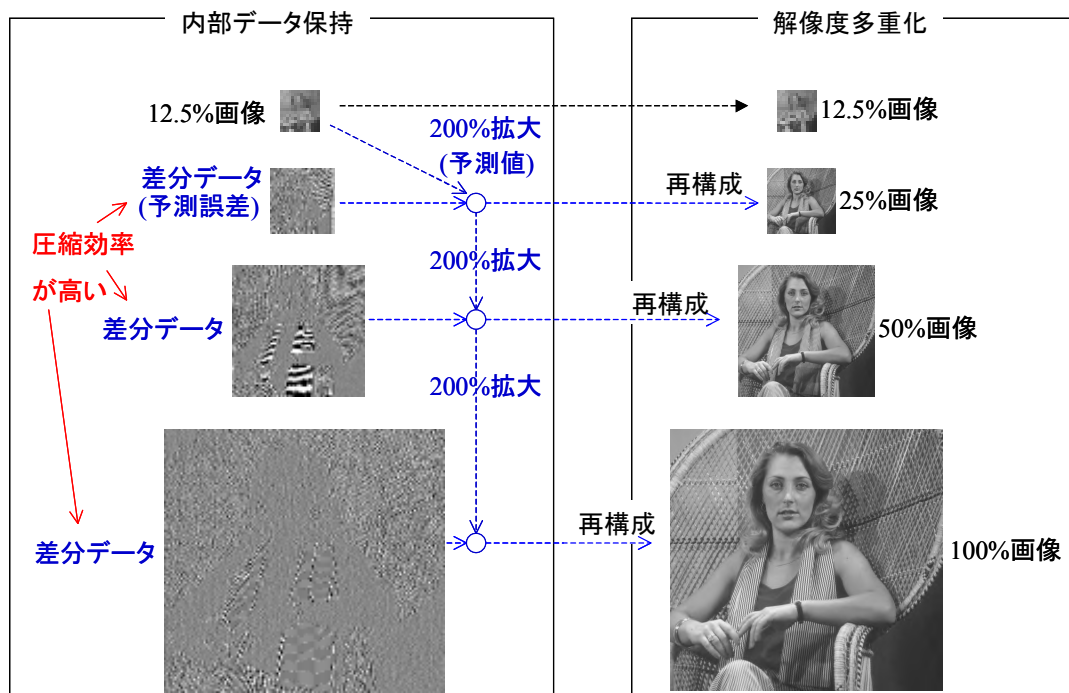


図 5-2-1-2 縮小画像データおよび差分データによるコンテンツの解像度多重化

検証実験では、元画像データの解像度を2分の1ずつ下げた画像データを保持する解像度多重データの蓄積方法として、単純解像度多重構成、色深度多重対応型の小画像・差分構成の2つの方式の検証プログラムを作成して比較検証を行った。その結果、色深度多重対応型の縮小画像・差分構成による出力データが、単純解像度多重構成方式の構成に比べて約65%と、期待できる結果となった。

### 5-2-1-3 輪郭強調拡大・縮小方法の検証

既存の拡大・縮小処理では、超高精細コンテンツに写っている被写体の輪郭部分にブロック状のノイズを生じたり、鮮鋭度が失われたりするなど、様々な画像品質の劣化が生じる。こうした拡大・縮小処理に伴う輪郭部分の品質低下は、特に人間の持つ視覚特性から主観的に画像品質レベルを低下させる。

そこで、輪郭協調拡大・縮小方法は、先ず画像の中にある被写体の輪郭情報を抽出し、拡大・縮小時にこれらの情報を活用して、ブロックノイズや鮮鋭度の低下を補正することとした(図5-2-1-3)。

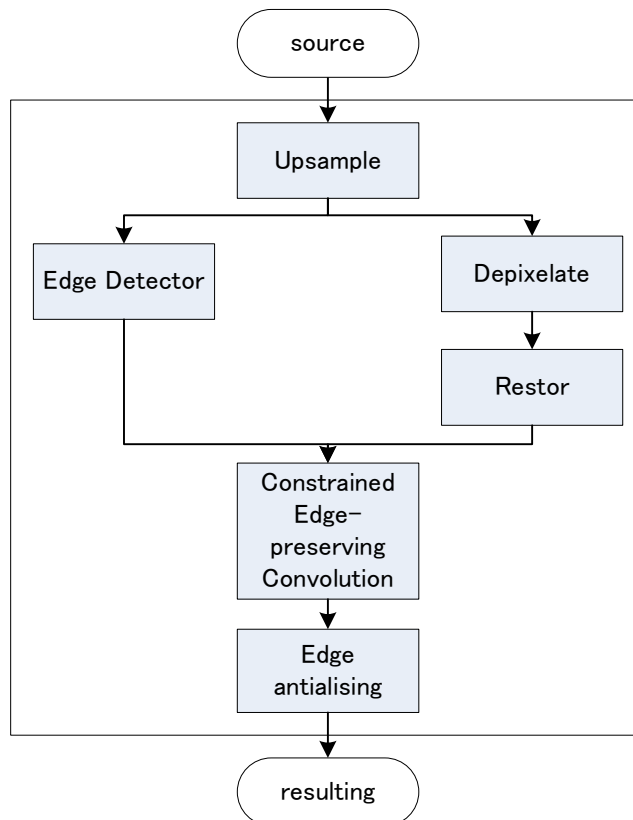


図 5-2-1-3 輪郭強調拡大・縮小アルゴリズム

そこで、輪郭強調拡大・縮小アルゴリズムの実装を行い、品質ならびに処理速度の計測を行った。

この速度計測の実験では、画質調節パラメータを一定に保ち、拡大率：151%から1551%まで50%刻みで拡大を行い、主要処理モジュール毎の処理時間を計測した。その結果、コンボリューション処理、ベース画像の作成、ならびに、エッジ抽出処理の比率が高く、中でもコンボリューション処理が、拡大率の増加と共に指数的な増加をするため、今後この部分における処理効率の改善が課題となる。

#### 5-2-1-4 性能測定・評価

ビジュアル・ロスレスのデータの品質ならびに圧縮効率の最適値を検証し、色深度レベルをロスレスとビジュアル・ロスレスの2段階に変更することにより、デコードスピードならびにエンコードスピードで前回の2倍以上の高速化を実現した。

この蓄積方式では、解像度多重と色深度多重の双方のデータ抽出が可能で、解像度レベルは最小画像データのレベル0から元画像サイズに応じて最大レベル8までの9層のデータ構造を保持することができる。また、各解像度レベルに対して、ビジュアル・ロスレスとロスレスの2段階の色深度レベルを保持することができる（図 5-2-1-4）。

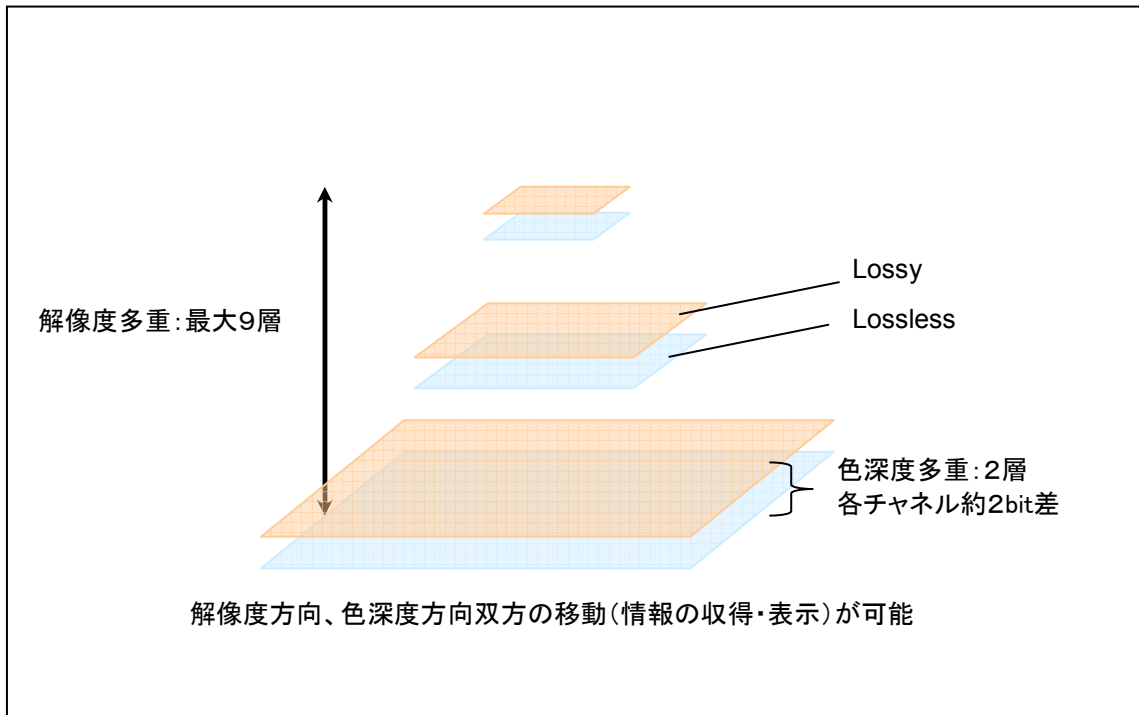


図 5-2-1-4 解像度多重レベルと色深度多重レベル

ここで、解像度が 2,255x3,000 から 1,000x1,262 ピクセルまでの 16 種類の超高精細コンテンツデータを対象として 2 段階色深度方式の解像度多重データのエンコードならびにデコードのテストを行った。

以下に、エンコードならびにデコードの処理に要した時間の計測結果を示す。なお、計測に用いた環境には CPU : Pentium3 (1.2GHz)、メモリー : 512MB、OS : Windows XP Professional を用い、速度単位は秒で示す。

表 5-2-1-1 エンコード速度の計測結果

Resolution	File Name	Quality	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1943x3000pixel	K01.tif	Lossless	→	→	→	→	49.471	-
		Lossy	→	→	→	→	49.271	-
1926x3000pixel	K02.tif	Lossless	→	→	→	→	48.590	-
		Lossy	→	→	→	→	47.989	-
1788x3000pixel	K03.tif	Lossless	→	→	→	→	44.584	-
		Lossy	→	→	→	→	44.444	-
2255x3000pixel	K04.tif	Lossless	→	→	→	→	→	59.296
		Lossy	→	→	→	→	→	58.284
1787x3000pixel	K05.tif	Lossless	→	→	→	→	45.565	-
		Lossy	→	→	→	→	45.245	-

1819x3000pixel	K06.tif	Lossless	→	→	→	→	47.538	-
		Lossy	→	→	→	→	46.047	-
1409x1000pixel	E01.tif	Lossless	→	→	→	11.356	-	-
		Lossy	→	→	→	11.267	-	-
1474x1000pixel	E02.tif	Lossless	→	→	→	12.548	-	-
		Lossy	→	→	→	12.448	-	-
1000x1346pixel	E03.tif	Lossless	→	→	→	11.336	-	-
		Lossy	→	→	→	11.316	-	-
1777x1000pixel	E04.tif	Lossless	→	→	→	15.222	-	-
		Lossy	→	→	→	15.141	-	-
1000x1362pixel	E05.tif	Lossless	→	→	→	11.827	-	-
		Lossy	→	→	→	11.767	-	-
1477x1000pixel	E06.tif	Lossless	→	→	→	13.049	-	-
		Lossy	→	→	→	12.978	-	-
1000x1262pixel	E07.tif	Lossless	→	→	→	10.495	-	-
		Lossy	→	→	→	10.445	-	-
1350x1000pixel	E08.tif	Lossless	→	→	→	12.057	-	-
		Lossy	→	→	→	12.017	-	-
1000x1318pixel	E09.tif	Lossless	→	→	→	11.356	-	-
		Lossy	→	→	→	11.327	-	-
1720x1000pixel	E10.tif	Lossless	→	→	→	14.691	-	-
		Lossy	→	→	→	14.921	-	-

表 5-2-1-2 デコード速度の計測結果

Resolution	File Name	Quality	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
1943x3000pixel	K01_01.tao	Lossless	0.030	0.090	0.381	1.732	5.709	-
	K01_11.tao	Lossy	0.040	0.100	0.411	1.612	5.618	-
1926x3000pixel	K02_01.tao	Lossless	0.030	0.090	0.421	1.231	4.076	-
	K02_11.tao	Lossy	0.281	0.080	0.381	1.221	4.035	-
1788x3000pixel	K03_01.tao	Lossless	0.061	0.070	0.300	1.112	3.625	-
	K03_11.tao	Lossy	0.050	0.080	0.320	1.062	3.715	-
2255x3000pixel	K04_01.tao	Lossless	0.061	0.020	0.110	0.330	1.382	4.616
	04_11.tao	Lossy	0.310	0.020	0.111	0.350	1.372	4.617
1787x3000pixel	K05_01.tao	Lossless	0.040	0.070	0.300	1.042	3.645	-
	K05_11.tao	Lossy	0.040	0.070	0.311	1.041	3.505	-
1819x3000pixel	K06_01.tao	Lossless	0.030	0.070	0.301	1.091	3.575	-
	K06_11.tao	Lossy	0.030	0.071	0.330	1.162	3.605	-
1409x1000pixel	E01_01.tao	Lossless	0.280	0.070	0.290	0.931	-	-
	E01_11.tao	Lossy	0.040	0.070	0.300	0.921	-	-
1474x1000pixel	E02_01.tao	Lossless	0.040	0.080	0.350	0.952	-	-
	E02_11.tao	Lossy	0.030	0.100	0.380	0.952	-	-
1000x1346pixel	E03_01.tao	Lossless	0.030	0.070	0.340	0.892	-	-
	E03_11.tao	Lossy	0.040	0.070	0.281	0.921	-	-
1777x1000pixel	E04_01.tao	Lossless	0.040	0.090	0.430	1.262	-	-
	E04_11.tao	Lossy	0.030	0.120	0.420	1.242	-	-
1000x1362pixel	E05_01.tao	Lossless	0.100	0.070	0.310	0.871	-	-
	E05_11.tao	Lossy	0.051	0.060	0.300	0.891	-	-
1477x1000pixel	E06_01.tao	Lossless	0.050	0.080	0.351	1.031	-	-
	E06_11.tao	Lossy	0.050	0.100	0.361	1.062	-	-
1000x1262pixel	E07_01.tao	Lossless	0.040	0.070	0.340	1.002	-	-
	E07_11.tao	Lossy	0.030	0.060	0.330	0.871	-	-
1350x1000pixel	E08_01.tao	Lossless	0.050	0.070	0.341	0.951	-	-
	E08_11.tao	Lossy	0.040	0.070	0.330	0.941	-	-
1000x1318pixel	E09_01.tao	Lossless	0.040	0.070	0.321	0.851	-	-
	E09_11.tao	Lossy	0.040	0.070	0.291	0.841	-	-
1720x1000pixel	E10_01.tao	Lossless	0.051	0.080	0.410	1.152	-	-
	E10_11.tao	Lossy	0.040	0.081	0.420	1.122	-	-

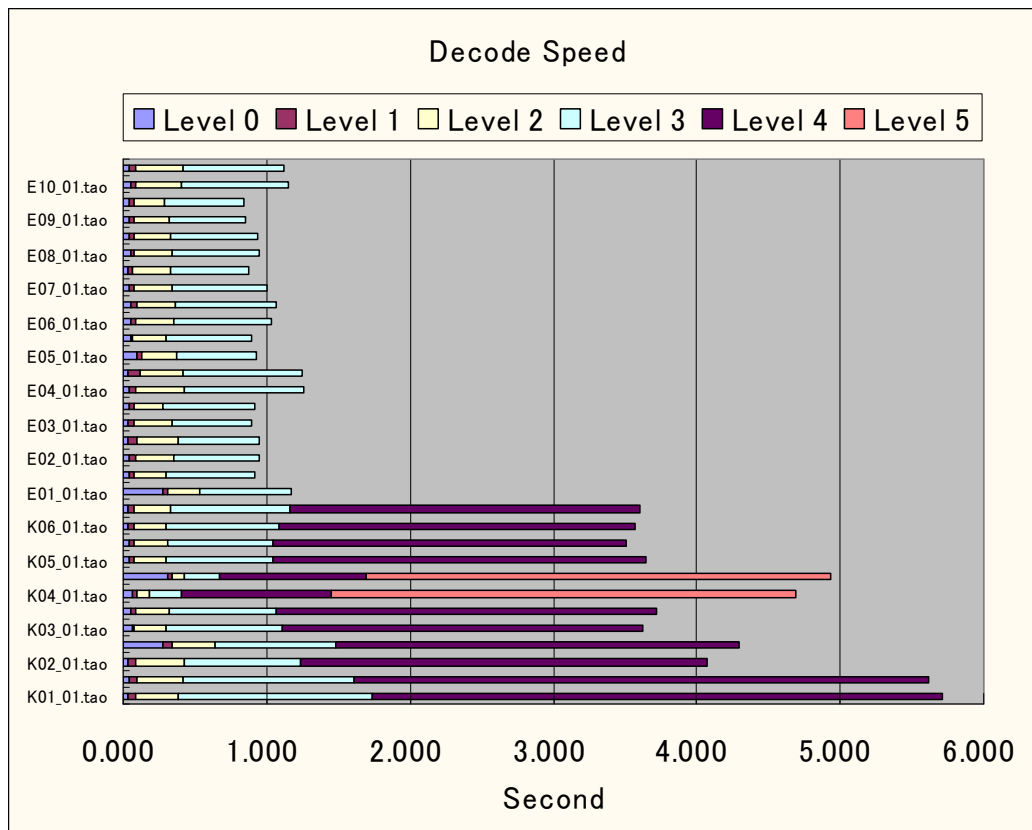


図 5-2-1-5 デコード速度の測定結果

この結果、ビジュアル・ロスレスの最適値を検証し、色深度多重方法の色深度をロスレスとビジュアル・ロスレスの2段階にとどめることにより、デコードスピード、ならびに、エンコードスピードで前回の2倍以上の高速化を実現した(図 5-2-1-5)。

また、同様に各コンテンツデータを色深度多重対応型の縮小画像・差分アルゴリズムで変換し、解像度別にエントロピー圧縮処理を行った結果を以下に示す。なお、数値はファイルサイズを示し、単位はすべてMBである。



表 5-2-1-3 圧縮率の計測結果

Filename/ Resolution	Raw Data	Quality	Total	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
K01.tif 1943x3000pixel	17.487	Lossless	14.807	0.067	0.193	0.738	2.852	10.955	-
		Lossy	9.749	0.067	0.113	0.500	1.903	7.163	-
K02.tif 1926x3000pixel	17.334	Lossless	14.536	0.067	0.192	0.729	2.803	10.744	-
		Lossy	9.518	0.067	0.113	0.493	1.861	6.983	-
K03.tif 1788x3000pixel	16.092	Lossless	12.876	0.062	0.155	0.604	2.413	9.640	-
		Lossy	8.17	0.062	0.081	0.384	1.531	6.110	-
K04.tif 2255x3000pixel	20.295	Lossless	16.931	0.019	0.055	0.208	0.809	3.199	12.638
		Lossy	11.065	0.019	0.032	0.139	0.534	2.099	8.239
K05.tif 1787x3000pixel	16.083	Lossless	13.096	0.062	0.160	0.617	2.455	9.800	-
		Lossy	8.393	0.062	0.086	0.397	1.574	6.271	-
K06.tif 1819x3000pixel	16.371	Lossless	13.137	0.063	0.167	0.633	2.480	9.792	-
		Lossy	8.349	0.063	0.092	0.409	1.583	6.200	-
E01.tif 1409x1000pixel	4.227	Lossless	3.351	0.066	0.176	0.656	2.452	-	-
		Lossy	2.14	0.066	0.099	0.428	1.547	-	-
E02.tif 1474x1000pixel	4.422	Lossless	3.867	0.069	0.215	0.773	2.810	-	-
		Lossy	2.579	0.069	0.134	0.531	1.844	-	-
E03.tif 1000x1346pixel	4.038	Lossless	3.428	0.063	0.178	0.674	2.512	-	-
		Lossy	2.248	0.063	0.104	0.452	1.627	-	-
E04.tif 1777x1000pixel	5.331	Lossless	5.128	0.083	0.272	1.016	3.756	-	-
		Lossy	3.569	0.083	0.174	0.724	2.587	-	-
E05.tif 1000x1362pixel	4.086	Lossless	3.319	0.063	0.161	0.629	2.465	-	-
		Lossy	2.124	0.063	0.086	0.405	1.568	-	-
E06.tif 1477x1000pixel	4.431	Lossless	4.051	0.069	0.202	0.774	3.005	-	-
		Lossy	2.756	0.069	0.121	0.532	2.033	-	-
E07.tif 1000x1262pixel	3.786	Lossless	3.525	0.058	0.181	0.688	2.596	-	-
		Lossy	2.422	0.058	0.112	0.481	1.769	-	-
E08.tif 1350x1000pixel	4.050	Lossless	3.848	0.063	0.186	0.730	0.730	-	-
		Lossy	2.668	0.063	0.112	0.508	1.984	-	-
E09.tif 1000x1318pixel	3.954	Lossless	3.23	0.061	0.174	0.634	2.359	-	-
		Lossy	2.074	0.061	0.102	0.417	1.493	-	-
E10.tif 1720x1000pixel	5.160	Lossless	4.392	0.080	0.227	0.861	3.222	-	-
		Lossy	2.883	0.080	0.133	0.578	2.091	-	-

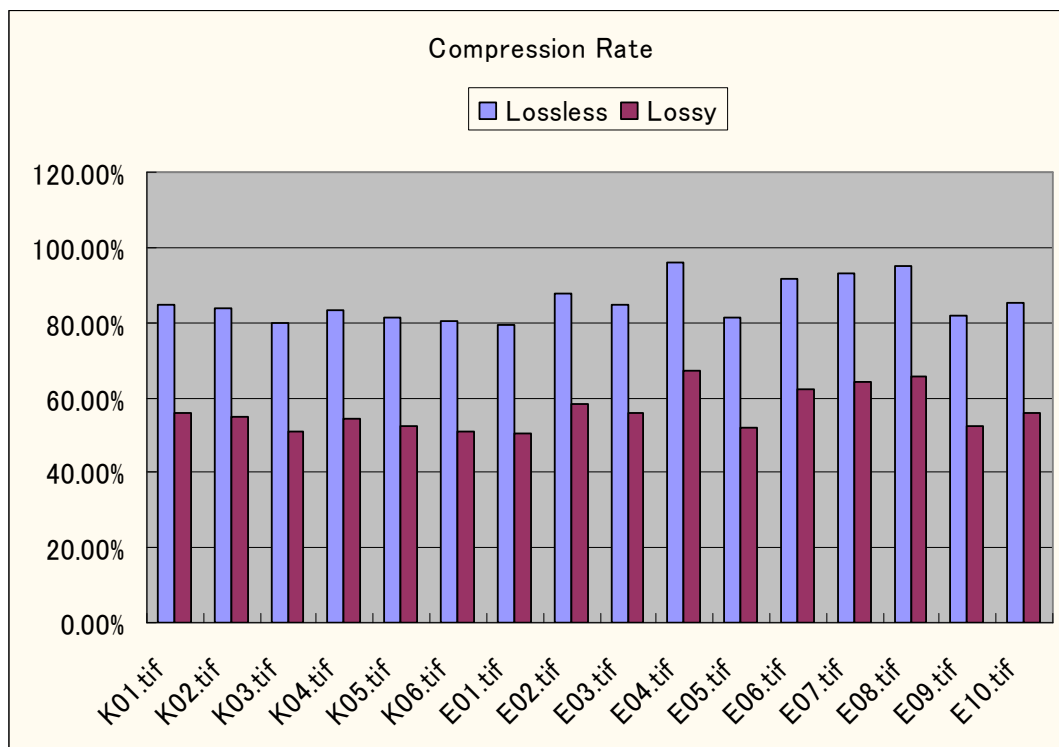


図 5-2-1-6 圧縮率の測定結果

超高精細コンテンツの蓄積方法として、変換プログラムを作成し、可逆圧縮で平均85%の圧縮ファイルを生成した。また、画像品質においてもビジュアル・ロスレスの抽出を可能として、非可逆圧縮で平均56%の圧縮を行うことができた（図 5-2-1-6）。

## 5-2-1-5 超高精細コンテンツ専用ビューア

超高精細デジタルコンテンツ用の専用ビューアの開発を行った。以下に、操作部の各機能を示す（図 5-2-1-7）。



図 5-2-1-7 専用ビューア画面

### ① 表示域調節バー

画像の表示域を調節する。下記②に合わせて、段階を上げることによって、表示サイズを大きくすることができる。この調節バーを変更せずに②を変更した場合、画像表示部における画像の密度が変化する。

### ② 解像度レベル選択バー

解像度多重のフォーマットに変換されたデータを、小画像から順に選択された解像度レベルまでのデータを抽出し、画像を再構成して表示する。

### ③ 色深度レベル選択ラジオボタン

各解像度レベルにおける色深度レベルを VL (Visually Lossless) と Lossless の2つから選択することができる。VL は人間の視覚に影響のない範囲で、Lossless に対して色深度レベルを下げることにより、情報量を下げることができる。ただし、元データを完全に再構成することはできない。

④ 連動スイッチボタン

スイッチを入れることにより、上記①と②の段階を連動させることができる。

⑤ ウィンドウフィットボタン

ボタンをクリックすると、画像表示サイズがウィンドウに合わせて自動的に調節される。

⑥ 画像表示部

操作に合わせて、エンコードされたデータから画像を再構成して表示する。

⑦ 画像情報表示部

エンコードされた画像データに関する情報を表示する。

⑧ 解像度レベル、ならびに、情報量表示部

操作に合わせて、解像度多重データの読み込みを行った解像度とそのデータ量を示す（図 5-2-1-8～11）。

次に、専用ビューアで、各解像度レベルならびに色深度レベルを変更する様子を示す。解像度レベルは0からレベル5まで1つずつ上げている。解像度レベルは元データのサイズに応じて自動的に設定される。

データが読み込まれると画面下に配置されている解像度レベル表示部にハイライトで表示される。

また、解像度レベル5では色深度レベルをVLからLosslessへと上げている。ここで、ビューアの画面上で2つの色深度レベルの間にほとんど画像品質の差が見られない。

なお、解像度レベル調節バーに合わせて、表示域調節バーも操作することにより、解像度レベルに応じて表示画像のサイズを変化している。



図 5-2-1-8 解像度レベル0, ビジュアルリ・ロスレス



図 5-2-1-9 解像度レベル1, ビジュアルリ・ロスレス



図 5-2-1-10 解像度レベル 2, ビジュアル・ロスレス



図 5-2-1-11 解像度レベル 3, ビジュアル・ロスレス

## 5-2-1-6 まとめ

超高精細コンテンツデータの解像度多重による変換・逆変換プログラムを作成し、解像度が 2,255x3,000 から 1,000x1,262 ピクセルまでの 16 種類の超高精細コンテンツデータを対象に、ビジュアル・ロスレスのデータの品質ならびに圧縮効率の最適値を検証し、2 段階の色深度多重と最高 8 段階の解像度多重の構造を持つコンテンツの階層的な蓄積方法のエンコード処理ならびにデコード処理のテストを行った。

その結果、デコードスピードならびにエンコードスピードで前回の 2 倍以上の高速化を実現した。

また、超高精細デジタルコンテンツ用の専用ビューアの開発を行い、解像度レベル調節や色深度レベルの調節による双方の総合的に効率的な情報提供を検証した。

## 5-2-2 分散環境著作権管理方式

### 5-2-2-1 序論

#### (1) 概要

超高精細で、かつ、再利用性にも優れた、高い付加価値を持つデジタルコンテンツを、ネットワークを通じて広範囲に流通させるため、情報を提供するサイトのアクセス時にユーザ認証を求めるなど著作物を保護するためのセキュリティシステムが必要となる。

通常、この著作権管理システムには、画像データや、検索文字列、著作権情報、その他のコンテンツの使用条件などが登録されている。これらのデータ管理は、システムリソースの側面や、ネットワークのトラフィックの側面から、コンテンツの増加に合わせて分散化することが望ましい。

そこで、複数のコンテンツホルダが共同で運用できるような、分散環境での著作権管理システムの検討ならびに設計開発を行う。

#### (2) 現状

分散環境で著作権管理を行っている例はほとんど見られず現在は下記の一元管理方式によるコンテンツ流通が一般的である。

#### CORBIS Corporation

Corbis 社の前身は、マイクロソフトの創始者ビル・ゲイツ氏により、一般家庭のモニターにデジタルコンテンツを供給するために 1989 年に創られた「インタラクティブ・ホーム・システムズ」。この会社は数々の美術作品のデジタル化権を取得する一方で、オンライン・ライブラリーの技術的問題の解決にも着手し、1994 年には Corbis に社名変更、収蔵データを飛躍的に増加させるとともに高度な検索システムを構築、オンラインによるデジタル画像プロバイダーの世界的なリーダーの一つといえる。現在、シアトル郊外ベルビューの本社をはじめ、ニューヨーク、ロスアンゼルス、ロンドン、パリ、デュッセルドルフ、ウィーン、香港、クアラルンプールのオフィスにおいて 1,300 人以上のスタッフにより運営される。コンテンツの取扱数量はオンライン供給だけで 210 万点、総数では 6500 万点におよび、美術館収蔵品を中心とするヨーロッパのコンテンツ流通団体と好対照をなし、コマーシャルストックフォトの他、ニュース、エディトリアル、スポーツ、現代社会、歴史、著名人、そしてファインアートなど幅広くカバーするのが特徴である。

オンラインでの画像流通には JPEG を利用しており、ライセンスに至るまでの Web 上でのワークフロー中にはデジタル透かしによる著作権保護を行っている。コンテンツに関する情報は Web サイトと連動する DB により一元管理されている。

#### Getty Images

1993 年設立。世界中の広告代理店、デザインハウス、出版社、雑誌社、新聞社、放送局、制作会社、ニューメディア関連などのクリエイティブワークに携わるプロフェッショナルユーザをターゲットとしており 70 カ国の顧客により世界最大のシェアをもつ。上記 Corbis のコンテンツに加え、7000 万点におよぶスポーツ、ニュース、エンターテイメントなどの日常のイベントに関するコンテ



ンツをもカバーしているがオンラインでの画像流通に限られた解像度のコンテンツまでで実際に消費されるコンテンツはオフラインでの流通がメイン。ライセンス処理をオンラインで行うのが主要なワークフローである。コンテンツ流通に利用されるデータはJPEGを利用しており Corbisと同様にコンテンツに関しての情報はWebサイトと連動するDBにより一元管理されている。コンテンツは静止画だけではなく動画、音声なども扱う。

### Cultural Heritage On Line

Cultural Heritage On Line は、ヨーロッパ文化遺産から全世界に向けてデジタル財産を配信するために Dominique Delouis 氏と Philippe Langlois 氏により設立された。上記の Corbis、Getty とは異なりあくまでも美術館に収蔵されている美術コンテンツを主体としており、イギリス、スペイン、イタリア、ドイツ、フランスの 132 の美術館からデジタルコンテンツの複製権を得ている。美術コンテンツを中心に今後 5 年間で 60 万点を取り扱う予定である。画像の流通はオンラインが中心であり、流通に利用されるデータは JPEG を利用している。同様にコンテンツに関しての情報はWebサイトと連動するDBにより一元管理されているが、同団体が欧州連合より委託されているプロジェクトである Open Heritage プロジェクトと本研究開発にて分散著作権管理の実証を行う予定である。

上記の代表的な実例の結果が示すとおり、その多くはコンテンツの流通の一部にのみネットワークを利用しており、かつそこで利用するファイルは JPEG がほとんどであることから本研究開発で達成される状況にはほど遠いというのがコンテンツ流通分野の現状と言える。

### (3) 研究開発項目

上述の通り、ほぼすべての既存のコンテンツ配信システムは、一元管理型であり、再利用性の高いデジタルコンテンツをネットワークで広範囲に流通するためのボトルネックとなっている。そこで、各システムが分散する環境で、柔軟にコンテンツの配信を行えるシステムが必要となる。

コンテンツ配信システムは、大別して2つの機能を持つ。1つはデジタルコンテンツのデータ管理を行う機能（デジタル・アセット・マネジメント）であり、もう1つはコンテンツの利用者に対する著作権管理（デジタル・ライセンス・マネジメント）を行う機能である。

これまでの研究開発実験活動において、これらの機能を統一的に扱うオペレーション画面、および、分散環境におけるコンテンツ配信システムの全体構成の設計・検討を行った（図 5-2-2-1, 2）。

本年度は、これらの機能を統一的に扱うために連携用モジュールの設計を行い、また、分散環境著作権管理システムにおけるテーブルセットの定義を行った。

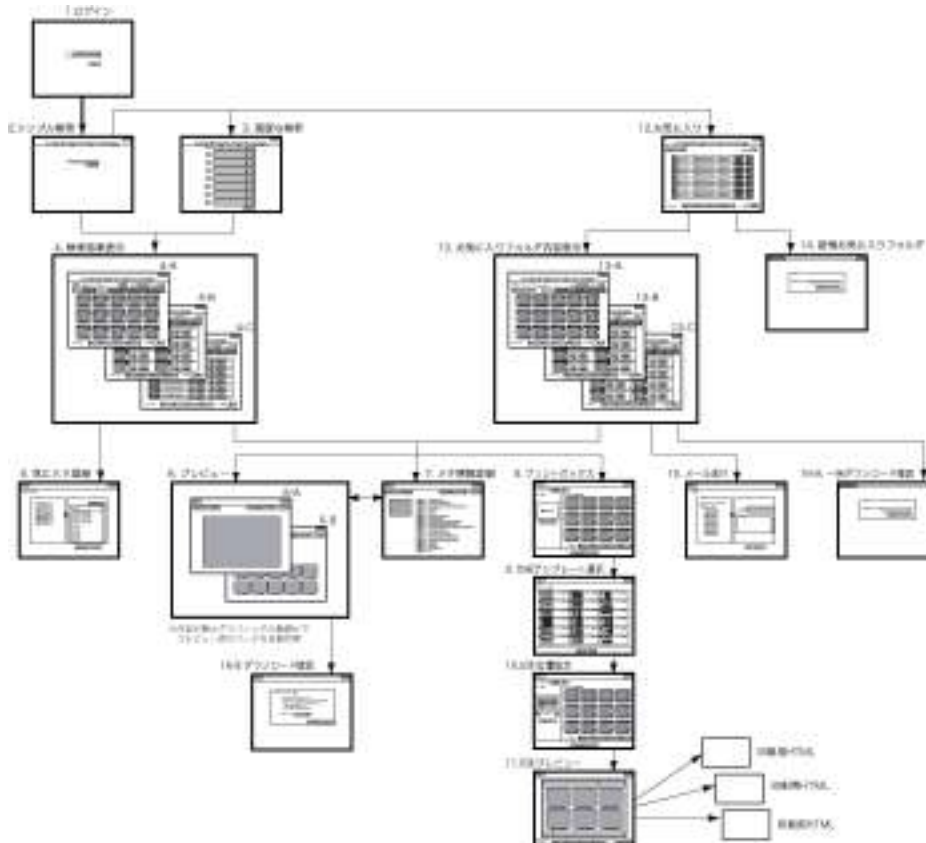


図 5-2-2-1 オペレーション画面

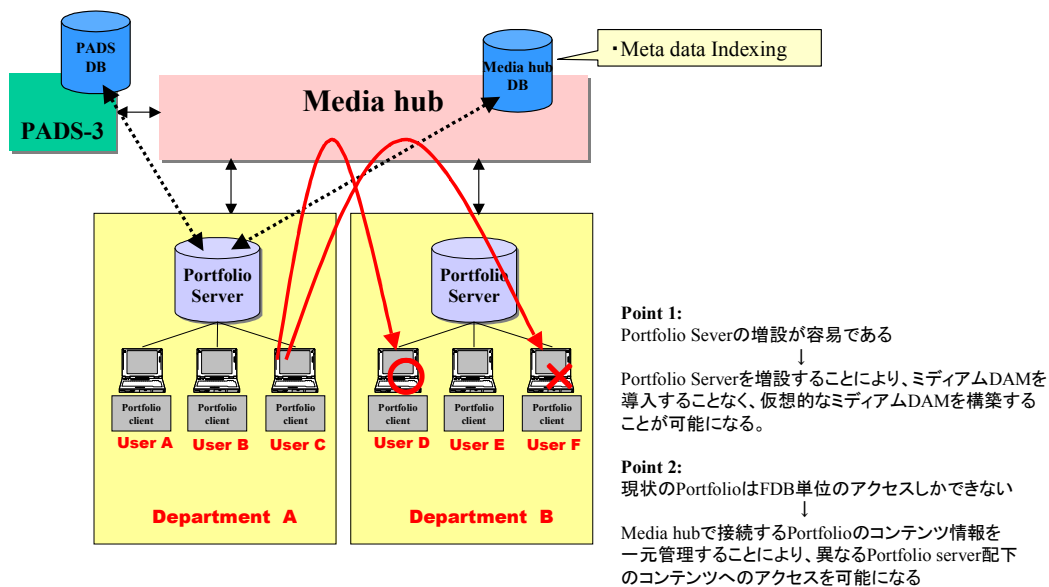


図 5-2-2-2 コンテンツ配信システムの全体構成

## 5-2-2-2 分散環境システム用モジュールの設計

コンテンツの配信管理システムは、規模が大きくなるに連れて、管理すべき項目も増えて複雑になる。

そこで、コンテンツ配信における各システムのフロントエンドにモジュールを配置し、統合的な情報交換を可能とする設計を行った（図 5-2-2-3）。

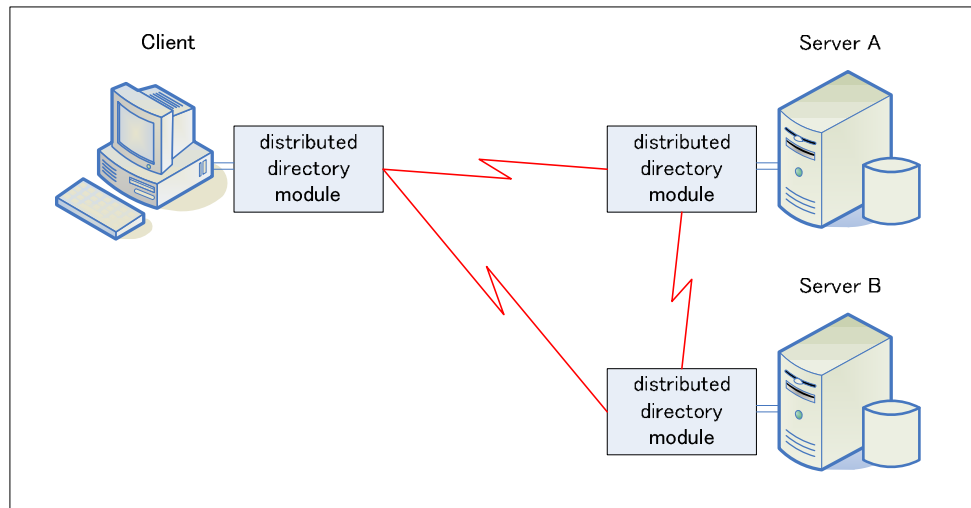


図 5-2-2-3 情報交換用モジュール

この情報交換モジュールによって、例えば、図 5-2-2-2 のように各システムを Hub 構成によって連携することができる。利用者は、このモジュールに対応する統合的なインターフェースから、さまざまな情報を取得することが可能となる。

ここで、著作権管理情報に注目して、複数のサーバを分散して配置し、横断的に統合して管理を行うシステムを検討した。すなわち、著作権情報を管理する各データベースにおいても、フロント部分にサーバ間で相互に情報交換を行うモジュールを設置する構成（図 5-2-2-4）とし、その設計を行った。

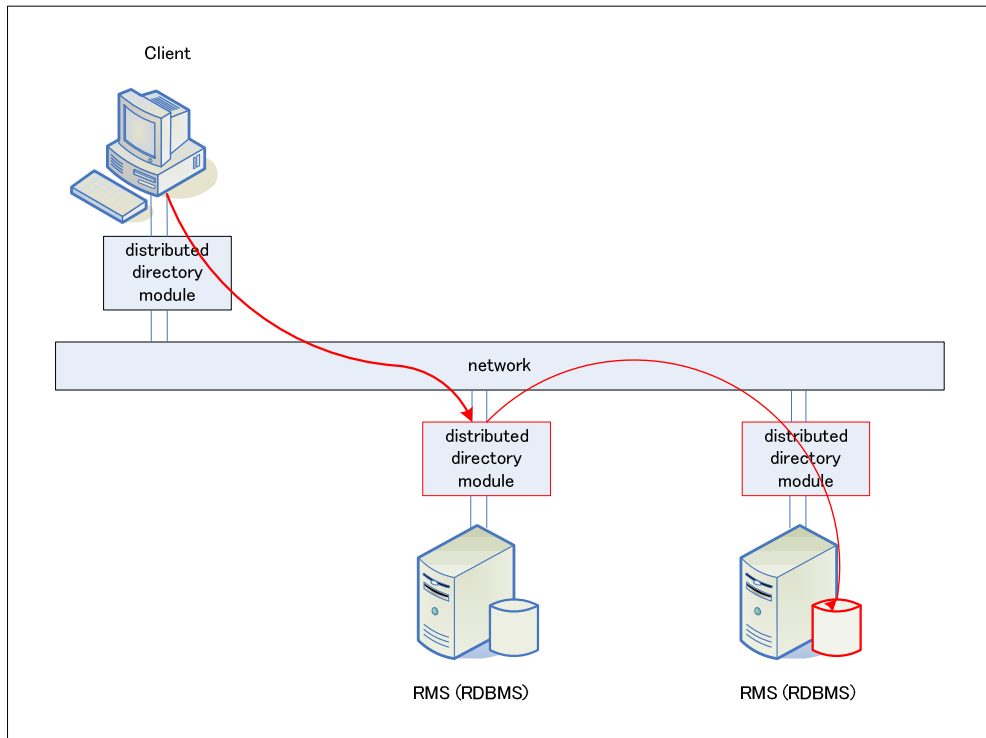


図 5-2-2-4 分散環境著作権管理システム

このモジュールの主な機能は、分散して配置される著作権管理システム上の情報を相互に、かつ、高速に検索することである。そのため、検索用に最適化したテーブル（検索対象の情報レコードと検索キーワードとのマッピングテーブル）を新たに用意する。

なお、この分散システムは、インターネット上で運用されることを想定して、既存のドメイン名の名前解決などのディレクトリ サービス システムとの親和性を考慮した設計とする。そこで検索キーワードは、個々の組織体の構造やサーバ管理上の構造を反映できる階層ツリー構造を適用し、組織名を連結して表す形態とする（図 5-2-2-5）。また、この検索情報単位をエントリと呼び、エントリに割り当てられる検索キーワードを識別名、エントリに含まれるレコードの各フィールドを属性値と呼ぶ。

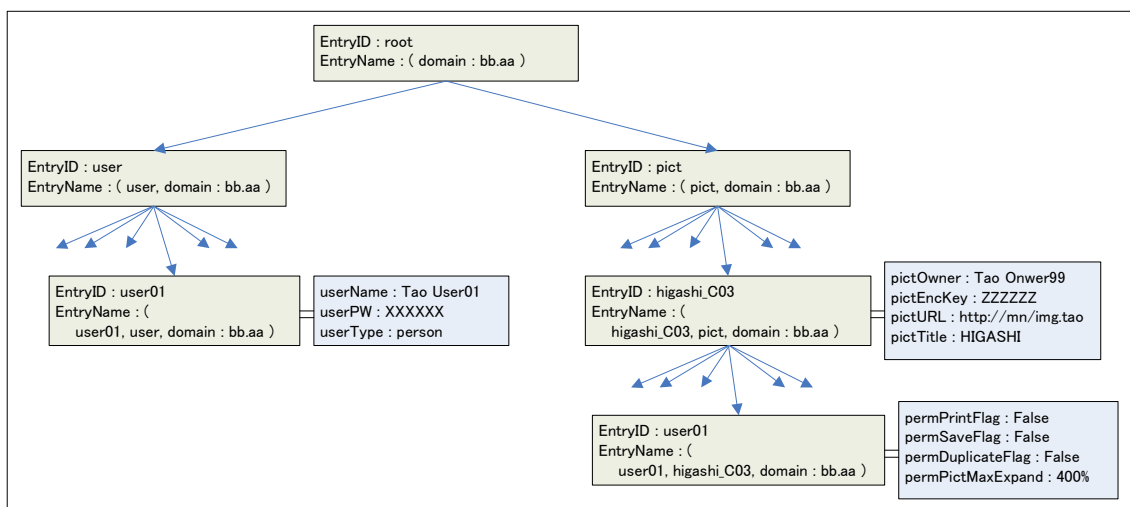


図 5-2-2-5 検索キーワードと対応レコード情報

各エントリに割り当てられる識別名は連携する著作権管理システム全体の中で一意とするため、インターネットで利用されているドメイン名と連結する。その結果、インターネットもしくはイントラネット上の分散環境システムにおける著作権情報の連携を可能とする。また、属性値にこの識別名を記録することによって連鎖的な著作権管理サーバの参照も可能とする（図 5-2-2-6）。

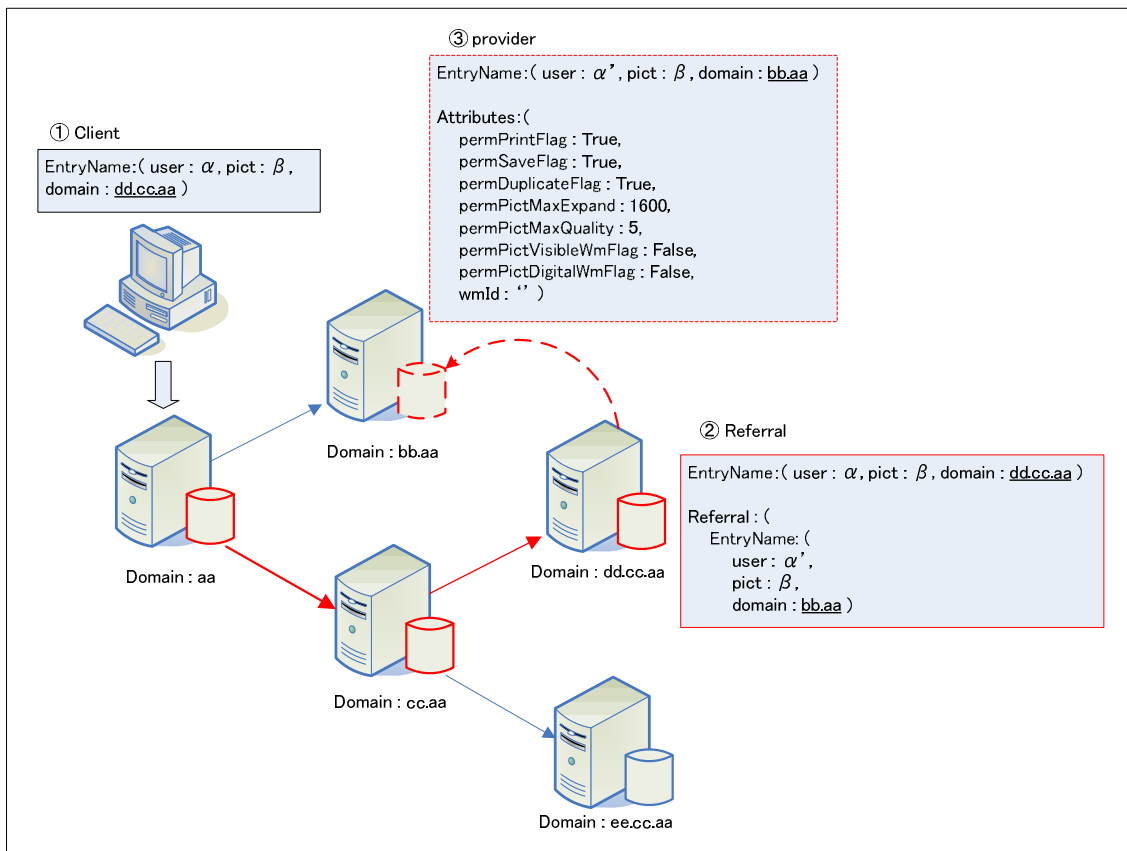


図 5-2-2-6 連鎖的著作権管理サーバの例

### 5-2-2-3 著作権管理におけるテーブルセットの定義

分散環境著作権管理システムの設計を行うために、先ず著作権管理システム用のリレーショナルデータベースのテーブルセットの定義を行った。

下記に著作権管理に関するテーブル構造を示す。このテーブルセットは、コンテンツ利用者の情報を保持する USERS テーブル、利用者のグループ情報を保持する USER GROUPS テーブル、利用者とグループの割付情報を保持する USER GROUP MEMBERS テーブル、コンテンツの情報を保持する CONTENTS テーブル、コンテンツの利用者に対する利用制限情報を保持する PERMISSIONS テーブル、さらに、画像コンテンツに対する貸し透かし情報を保持する WATERMARKS テーブル、利用状況のセッションを記録する SESSIONS LOG テーブル、利用状況のイベントを記録する EVENTS LOG テーブル、利用状況のイベントを保持する EVENT TYPES テーブルで構成される。

表 5-2-2-1 USERS テーブル

列名	説明	備考
id	ユーザ ID	主 K
user_name	ユーザ名	
user_passwd	パスワード	
user_owner_flag	コンテンツオーナーフラグ	

表 5-2-2-2 USER GROUPS テーブル

列名	説明	備考
id	グループ ID	主 K
group_name	グループ名	

表 5-2-2-3 USER GROUP MEMBERS テーブル

列名	説明	備考
group_id	グループ ID	外部 K
user_id	ユーザ ID	外部 K

表 5-2-2-4 UCONTENTS テーブル

列名	説明	備考
id	コンテンツ ID	主 K
ct_owner	コンテンツオーナーのユーザ ID	
ct_key	コンテンツのエンクリプションキー	
ct_filename	コンテンツのファイル名	
ct_title	コンテンツのタイトル	
ct_author	コンテンツの制作者	
ct_date	コンテンツの制作日	
ct_copyright	コンテンツの権利者	
ct_genre	コンテンツのジャンル	
ct_comments	コメント	

表 5-2-2-5 UPERMISSIONS テーブル

列名	説明	備考
ct_id	許諾対象物のコンテンツ ID	外部 K
user_type	許諾対象者のタイプ	
user_id	許諾対象者のユーザ ID	外部 K
perm_print_flag	コンテンツの印刷操作の可否	
perm_save_flag	コンテンツの保存操作の可否	
perm_duplicate_flag	コンテンツの複製操作の可否	
perm_pct_max_expand	画像コンテンツの拡大率制限値	
perm_pct_max_quality	画像コンテンツの品質制限値	
perm_pct_visible_wm_flag	画像コンテンツの可視透かしの有無	
perm_pct_digital_wm_flag	画像コンテンツの不可視透かしの有無	
wm_id	画像コンテンツの可視透かし ID	外部 K

表 5-2-2-6 UWATERMARKS テーブル

列名	説明	備考
id	可視透かし ID	主 K
wm_url	可視透かしの URL	
wm_pos	可視透かしの埋め込み位置	
wm_scale_n	可視透かしの埋め込み拡大率 (分子)	
wm_scale_d	可視透かしの埋め込み拡大率 (分母)	

表 5-2-2-7 USESSIONS LOG テーブル

列名	説明	備考
id	セッション ID	主 K
session_ip	クライアントの IP アドレス	
session_agent	クライアントのソフトウェア名	
ct_id	対象のコンテンツ ID	外部 K
user_id	対象のユーザ ID	外部 K
session_timestamp	セッション開始時刻	

表 5-2-2-8 UEVENTS LOG テーブル

列名	説明	備考
session_id	セッション ID	主 K
log_tick	セッション開始時からの経過時間	
log_image_id	操作対象画像のユニーク ID	
event_id	イベントタイプ ID	外部 K
log_param	イベントパラメータ	

表 5-2-2-9 UEVENT TYPES テーブル

列名	説明	備考
id	イベントタイプ ID	主 K
event_name	イベントタイプ名	

このテーブルセットの相関図を図 5-2-2-7 に示す。

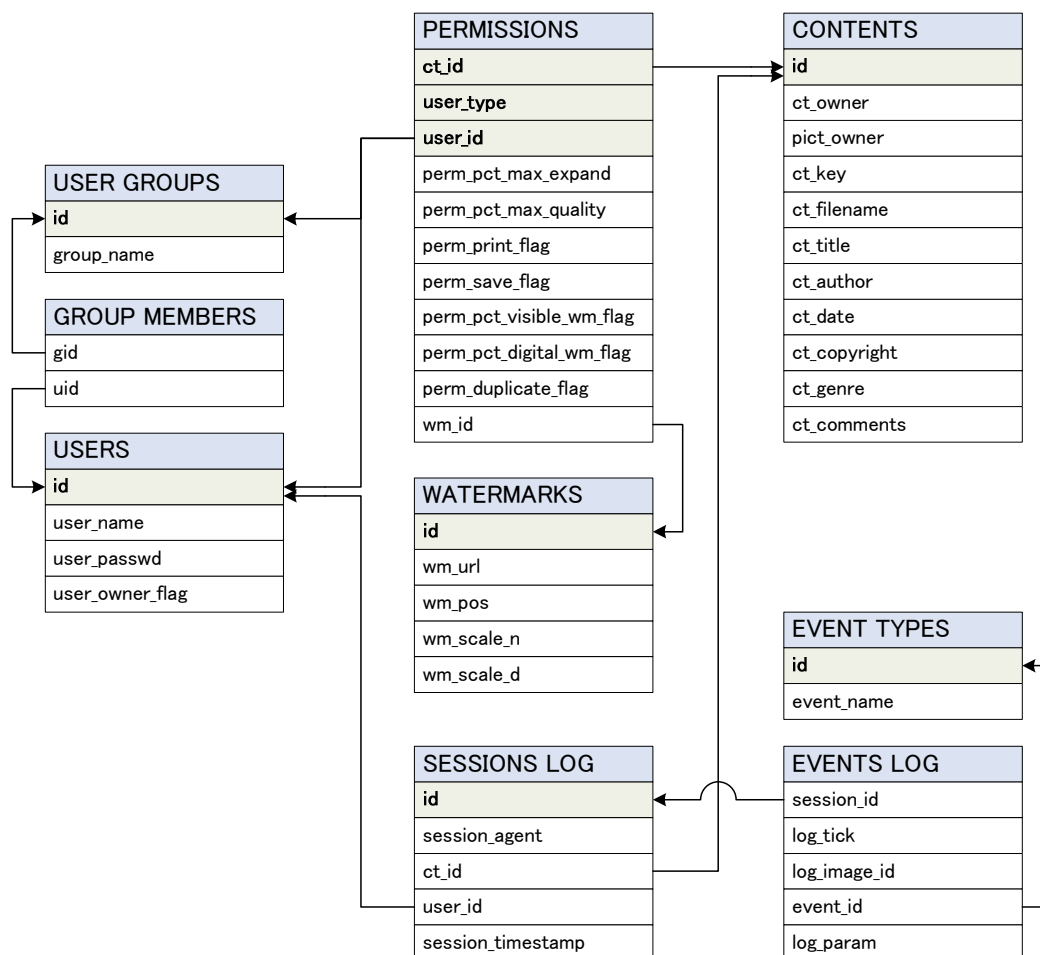


図 5-2-2-7 著作権管理に関するテーブルセットの関連図

#### 5-2-2-4 分散システムにおける検索用テーブルセットの定義

次に、分散システムにおける検索用のマッピングテーブルを示す。このテーブルセットは、エントリタイプと USERS テーブル、CONTENTS テーブル、PERMISSIONS テーブルとのマッピングは ENTRY TYPES MAPPING テーブル、属性タイプと各著作権情報テーブル内のカラムとのマッピングは ATTRIBUTE TYPES MAPPING テーブル、各エントリと各レコードとのマッピングは ENTRIES テーブルで構成される。

表 5-2-2-10 UENTRY TYPES MAPPING テーブル

列名	説明	備考
id	エントリタイプ ID	主 K
entry_name	エントリタイプ名	
tbl_name	対応する著作権管理テーブル名	
tbl_keycol	対応する著作権管理テーブルの主キー	
mtd_cleate_tbl_rec	対応する著作権管理テーブルのレコード追加法	
mtd_delete_tbl_rec	対応する著作権管理テーブルのレコード削除法	



表 5-2-2-11 UATTRIBUTE TYPES MAPPING テーブル

列名	説明	備考
id	属性タイプ ID	主 K
Attr_name	属性名	
et_id	対応するエントリタイプ ID	外部 K
tbl_names	問い合わせる著作権管理テーブルのリスト	
mtd_join_tbls	問い合わせる著作権管理テーブルの結合条件	
mtd_resolv_tbl_keycol	対応する列の選択法	
mtd_add_tbl_col	対応する列の値の追加法	
mtd_delete_tbl_col	対応する列の値の削除法	

表 5-2-2-12 UENTRIES テーブル

列名	説明	備考
id	エントリ ID	主 K
dn	識別名	
et_id	対応するエントリタイプ ID	
tbl_key	対応するレコードのキー値	

このテーブルセットの相関図を図 5-2-2-8 に示す。

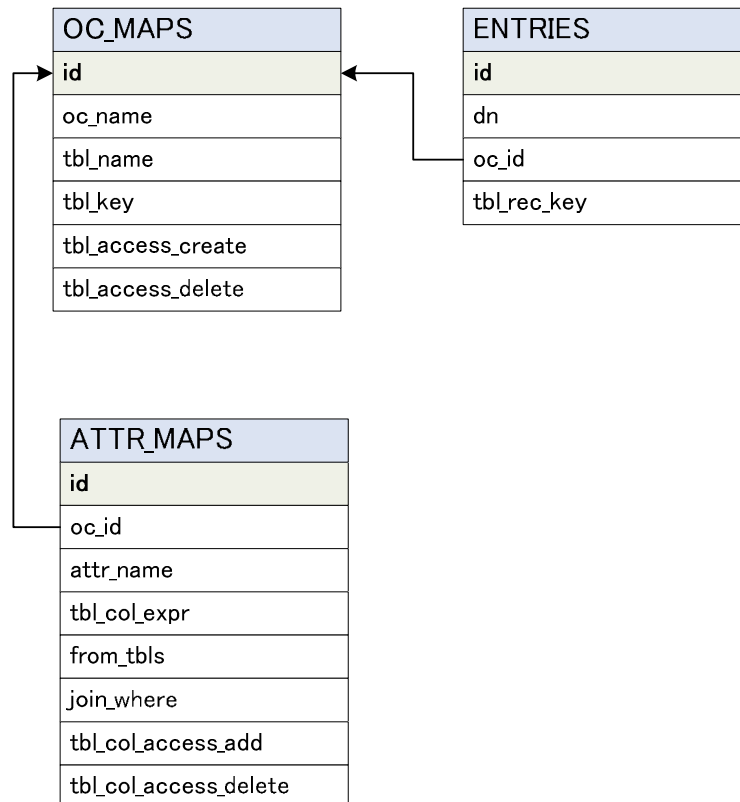


図 5-2-2-8 情報交換用モジュールに関するテーブルセットの相関図

## 5-2-2-5 まとめ

以上のように、複数のサーバを分散して配置して横断的に統合して管理を行うシステムを検討した。そして、著作権情報を管理する各データベースにおいて、フロント部分にサーバ間で相互に情報交換を行うモジュールを設置する構成として、テーブルセットならびにモジュールの設計・開発を行った。

### 5-2-3 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

#### 5-2-3-1 序論

著作権保護のための電子透かしと真正性証明のための電子透かしの開発を行った。著作権保護の電子透かしは画像の不正な流通を抑制するためのものであり、幾何学的変換、圧縮符号化、画像処理などに対する耐性が必要である。真正性証明のための電子透かしは、画像の出所が正しいことと改ざんがないことを証明するためのもので、編集・変換処理に対する耐性は必要ないが、本研究が対象とするコンテンツ流通に有用と考えられるのでその研究を行った。それぞれの具体的な成果を以下に記す。なお、電子透かしとして、メタデータを付与する別の方式を検討したが、これについては、5-3-2で述べる。

#### 5-2-3-2 著作権保護のための電子透かし

著作権保護のための電子透かしには、さまざまな攻撃に対する耐性が必要である。攻撃耐性を持たせるためには、画像の重要な領域に電子透かしの埋め込む必要がある[2]。

一方、本研究では階層的な蓄積を実現するためにウェーブレット変換を利用している。そこで、今後の統合を念頭におき、ウェーブレット変換の低域成分に透かし情報を埋め込むことを考える。

超高精細画像はそのままではデータ量が多いため、サムネイルなどの閲覧用の画像生成、あるいはホームページにおける画像紹介などにおいては、圧縮された画像が用いられることになると考えられる。そのため、攻撃耐性として JPEG 圧縮への耐性を持たせること主眼に方式の検討・試作をおこなう。

##### 5-2-3-2-1 従来方式

従来方式として、パッチワーク方式[1]とスペクトラム拡散方式[2]がある。

W. Bender らが提案する方式[1]では統計的性質を利用して情報を埋め込む。すなわち画像からランダムに 2 点を選び、その差の期待値が 0 となることを利用する。この方法では、透かし情報の検出に原画像を必要としない。しかしながら、画像からランダムに選んだ 2 点の画素値について、その差の期待値が 0 となるためには、選ばれる画素値が一様にランダムに分布しているか、あるいはある値の近くに分布している必要がある。しかしながら、一般的に、そのような特徴を備えた画像は多くはない。

I. J. Cox らが提案する方式[2]では、正規分布に従った  $n$  個の値を、電力の大きい画像周波数成分に分散して埋め込む。この方式では印刷後に再スキャンした画像からも透かし情報を検出可能であることが記されている。しかしながら、この方式では、透かし情報の検出時に透かしが埋め込まれる前の原画像を必要とする。本研究で扱う画像は、 $4,000 \times 4,000$  画素程度の超高精細画像であり、1 画像のデータサイズは数 M ～ 数十 M バイトになる。さらに、本研究の主旨から、蓄積される画像は膨大な数になる。このような状況のもと、1 つの画像ごとに、電子透かし情報有無の 2 種類の画像を保存するのは現実的ではない。

##### 5-2-3-2-2 検討方式

ここでは画像信号を人為的に拡散することにより、拡散後の画像信号和の電

力を 0 に近づけることを考える。同時に、画像信号の拡散方法を考慮して電子透かし信号を埋め込むことにより、画像信号和をとったときに画像信号和の電力に対する透かし信号の電力が大きくなるようにする。

以下に示す 3 つのパターンの組み合わせを利用して情報を埋め込む。

[ 空間パターン a ]

以下のように、+1 と-1 とを固定的に交互に設定したパターンである。

+1	-1	+1	-1	
-1	+1	-1	+1	
+1	-1	+1	-1	
-1	+1	-1	+1	

以後、このパターンの座標 (i, j) における値を、 $a_{ij}$  であらわす。

[ 空間パターン b ]

以下のように、2×2 画素単位で+1 と-1 とをランダムに設定したパターンである。

+1	+1	+1	+1	
+1	+1	+1	+1	
-1	-1	+1	+1	
-1	-1	+1	+1	

以後、このパターンの座標 (i, j) における値を、 $b_{ij}$  であらわす。

ここで埋め込み情報を  $\delta$  で表し、埋め込みビットが 1 のとき  $\delta = +1$  とし、0 のとき  $\delta = -1$  とする。このとき、上記のパターン a および b を利用し、画像における座標 (i, j) の画素値  $x_{ij}$  に対して、以下の式を用いて情報を埋め込む。 $x'_{ij}$  は情報埋め込み後の画素値である。

$$x'_{ij} = \delta \times (a_{ij} \times b_{ij}) + x_{ij} \quad (5-2-3-1)$$

埋め込んだ情報は、以下の手順で検出する。

- 1)  $2 \times 2$  画素で構成されるブロック  $B_k$  をランダムに  $N$  個抽出する ( $B = \{B_1, B_2, \dots, B_k, \dots, B_n\}$ )。
- 2) 抽出した  $N$  個のブロックに含まれる  $4N$  個の画素について、以下の式により  $R$  を求める。ただし、以下の式において、 $x'_{ij}$  は抽出されたブロックに含まれる座標  $(i, j)$  の画素値をあらわす。
$$R = \frac{1}{4N} \sum_{i,j} x'_{ij} (a_{ij} \cdot b_{ij}) \quad (\text{ただし、} i, j \in B) \quad (5-2-3-2)$$
- 3) しきい値  $th(\geq 0)$  を設定し、 $R \geq th$  ならばビット “1” を検出したものとし、 $R \leq -th$  ならばビット “0” を検出したものとする。また、 $-th < R < th$  のときは情報が埋め込まれていないものとする。

なお、上記の情報は、ウェーブレット変換の低域成分に透かし情報として埋め込まれる。

### 5-2-3-2-3 評価

ウェーブレット変換で得られるさまざまな低域成分に対し、上記の方法で透かし信号を埋め込み、埋め込み後の画像を主観評価した。その結果、本方式をそのまま利用して埋め込みを実施した場合、画質劣化が目立ちにくいぎりぎりの低域成分は水平方向に 3 段、垂直方向 1 段ウェーブレット変換をほどこして得られた低域成分（以後 H3V1 画像と呼ぶ）であった。そこで、H3V1 画像に透かし信号埋め込んだときの JPEG 耐性を評価する。

埋め込み情報量および圧縮耐性に関する最終目標は以下の 2 つである。

- SN 比 45dB 以上の品質で、256 ビットのデータを電子透かしとして埋め込んだ時に、検出の誤り率を  $10^{-5}$  以下とすること。（解像度：4,000×4,000 時）
- JPEG 等の符号化・復号化に対して、電子透かしの検出の誤り率を  $10^{-3}$  以下とすること。

以下では、ITE 標準画像の「和室」、「市場」、「広場の少女」を使って評価を実施した。これら 3 つの画像の解像度は  $720 \times 486$  画素である。 $4,000 \times 4,000$  画素をもつ画像への 256 ビット埋め込みを  $720 \times 486$  画素をもつ画像への埋め込みに換算すると、約 5.5 ビット埋め込みとなるので、上記 3 つの画像に対し、6 ビット埋め込むことにより評価を実施した。

H3V1 画像に対して “111111” の 6 ビットを埋め込み、JPEG 圧縮前に各ビットを検出したときの検出結果を図 5-2-3-1～図 5-2-3-3 に示す。測定の結果から、埋め込み直後の画像からは誤検出なく検出可能であることが確認できる。

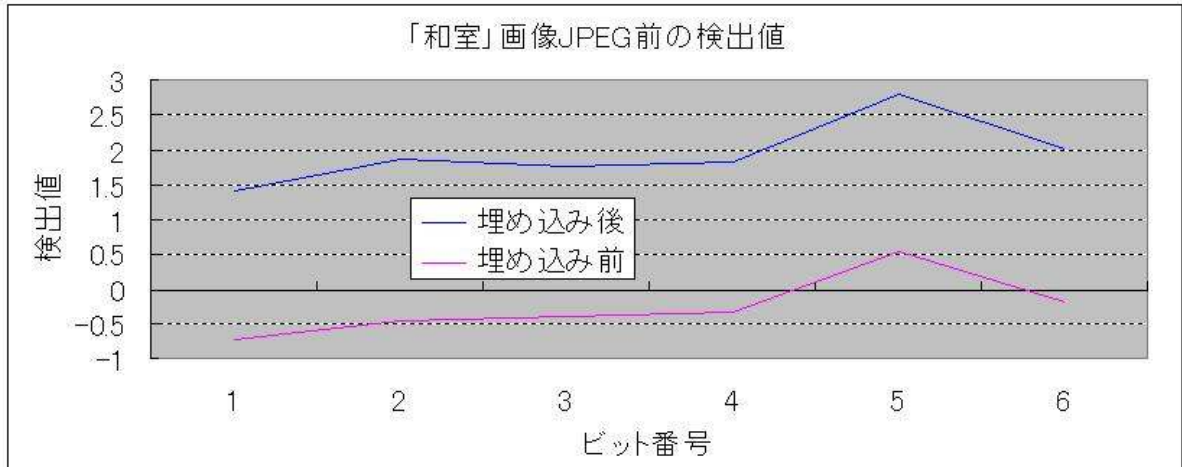


図 5-2-3-1 「和室」画像における JPEG 圧縮前 6 ビット検出値

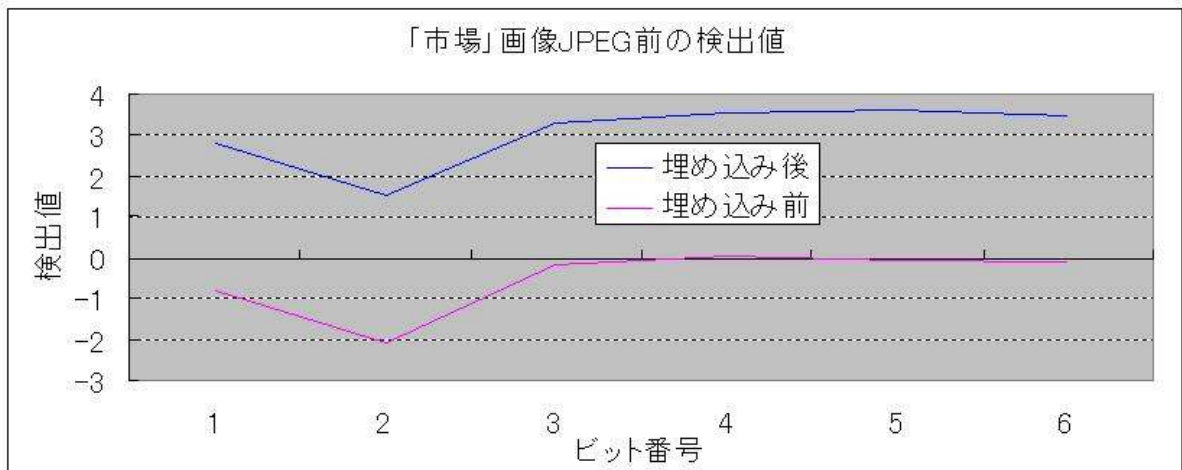


図 5-2-3-2 「市場」画像における JPEG 圧縮前 6 ビット検出値

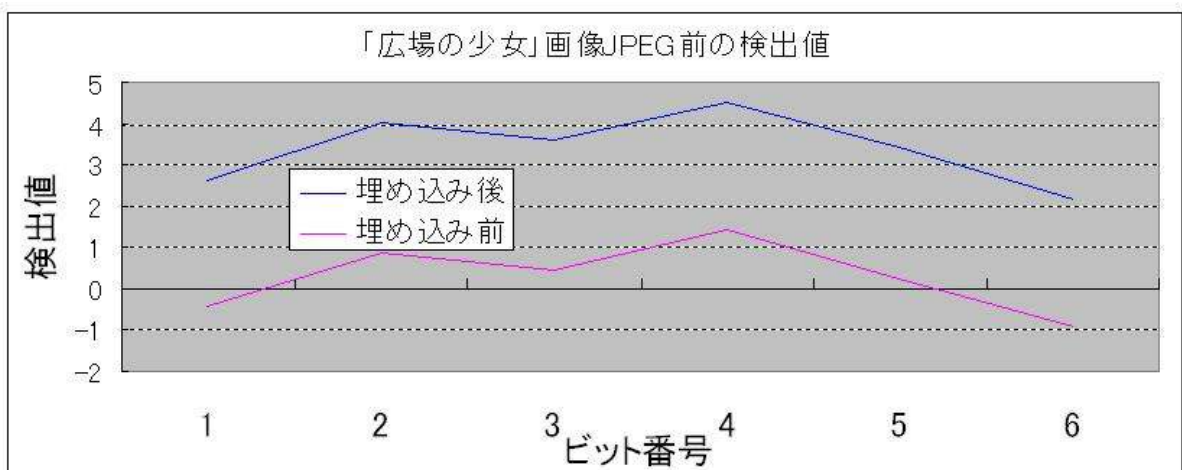


図 5-2-3-3 「広場の少女」画像における JPEG 圧縮前 6 ビット検出値

次に、H3V1 画像に対して“111111”の6ビットを埋め込み、7%程度までのJPEG圧縮後に各ビットを検出したときの検出結果を図 5-2-3-4～図 5-2-3-6 に示す。

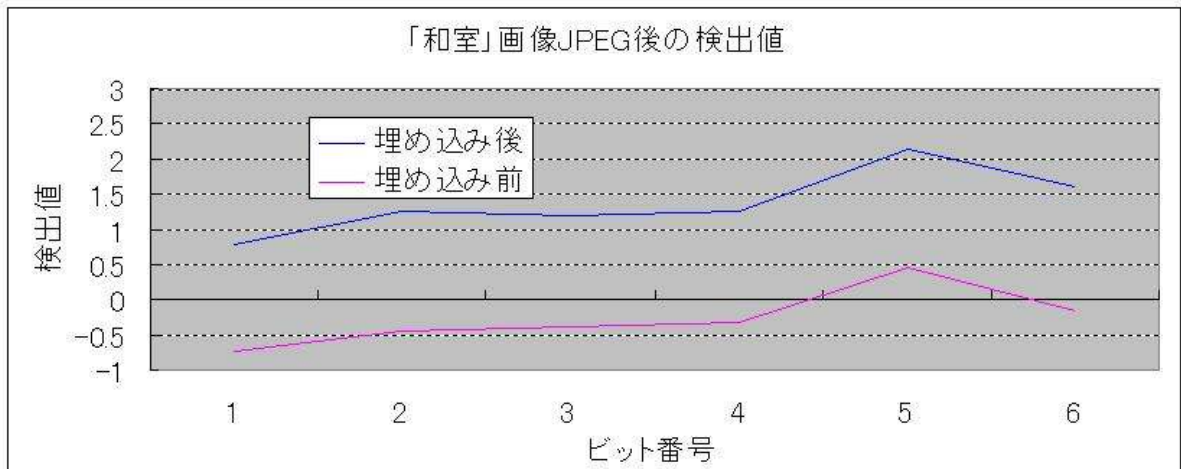


図 5-2-3-4 「和室」画像における7%JPEG圧縮後6ビット検出値

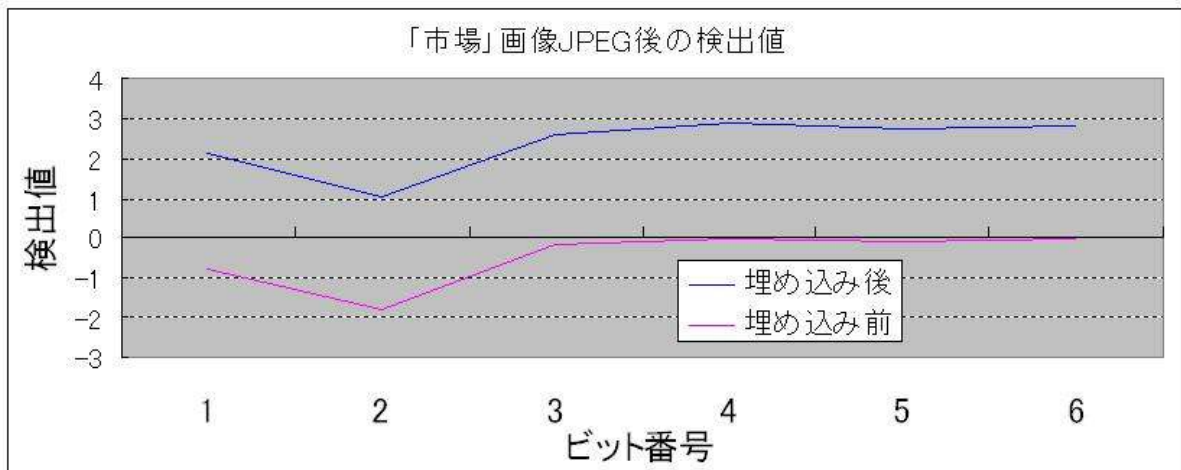


図 5-2-3-5 「市場」画像における7%JPEG圧縮後6ビット検出値

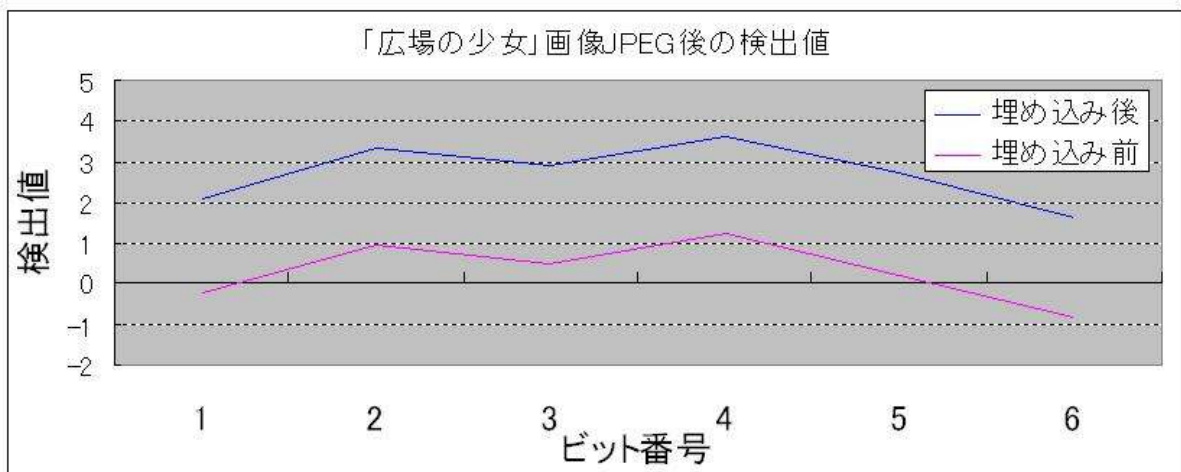


図 5-2-3-6 「広場の少女」画像における7%JPEG圧縮後6ビット検出値

測定の結果から、7%程度の JPEG 圧縮後の画像からも誤検出なく検出可能であることが確認できた。

#### 5-2-3-2-4 まとめ

著作権用電子透かし開発について、画像信号を空間的に拡散して生成した画像に対して電子透かし信号を埋め込む方式を開発した。また、本方式の JPEG 耐性評価について、ITE 標準画像を使って評価したところ、JPEG 符号化により画像データを 7%程度まで圧縮した後でも検出誤りが発生しないことを確認した。ただし、今回の実験では、次節に述べる課題がある。平成 16 年度は今回の試作を基に改良を加える。

#### 5-2-3-2-5 今後の課題

拡散後の画像信号和の電力を 0 に近づけるための方法は文献[1]と大きく違わず、検討が不十分である。画素全体を画素値によって分類し、各分類ごとに埋め込みを実施するなどの改良が必要である。

本研究で対象としている画像を念頭とした、電子透かしを埋め込むための低域成分の選択についてはさらに検討する必要がある。

検出評価は、電子透かしが埋め込まれていることを前提としていたが、「埋め込まれていない」ことも検出できるように改良する。直交パターンの埋め込みと相関を使った検出などの方法を検討する。

(参考文献)

- [1]W. Bender et. al, “Techniques for data hiding”, IBM systems journal, vol. 35, no. 3-4, pp. 313-336, 1996.
- [2]I. J. Cox et. al., “Secure spread spectrum watermarking for multimedia”, NEC Research Institute, TR95-10, 1995.



### 5-2-3-3 真正性証明のための電子透かし

#### 5-2-3-3-1 序論

JPEG で圧縮された画像の真正性を証明するための電子透かしについて、偶然または故意の改ざんに対する性能の評価を行った。また、JPEG を復号した後に電子透かしを残存させるための復号アルゴリズムを開発した。改ざんについては、アルゴリズムを公開しても悪意のある改ざんが困難なレベルにある。また、復号アルゴリズムは、一定の条件のもとで、ビットマップとして表現されたデータに電子透かしとして埋め込んだ情報が残ることを確認した。これにより、画像のフォーマットの変換が容易になり、柔軟な画像の流通が可能になると期待される。以下、まず、電子透かし方式の概要を述べ、次に、改ざんと復号に対する研究成果について記す。

#### 5-2-3-3-2 アルゴリズムの概要

真正性証明のための電子透かしは、グレースケール画像について 128 個の DCT ブロックをひとまとめとして、量子化した DCT 係数のランレングス構造を符号化する (図 5-2-3-7)。

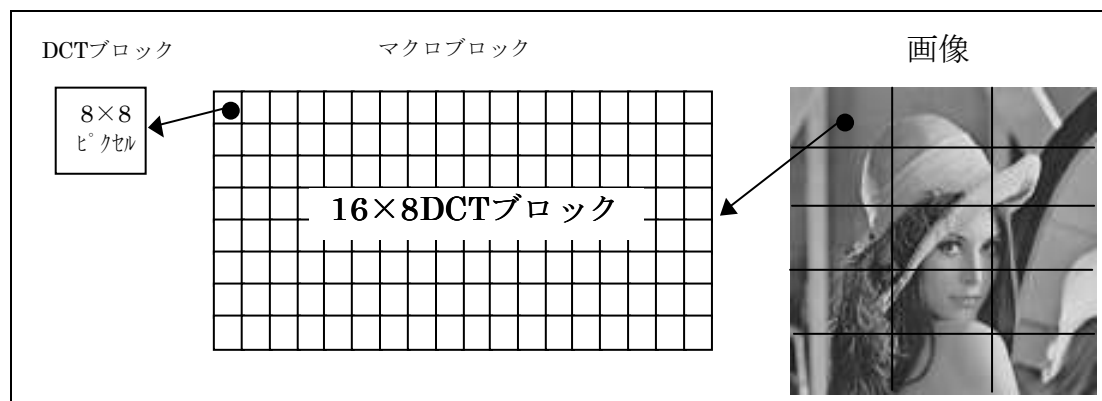


図 5-2-3-7 マクロブロック構成説明

この符号化したコードのハッシュ値 (128 ビット) を透かし情報と鍵で暗号化し、各 DCT ブロックのスキャンの最後に追加する。このとき、最後の DCT 係数の値は、ビットが「0」ならば「-1」、「1」ならば「1」とする。なお、追加する係数のランレングスはあらかじめハッシュ値の計算に含めなければならない (図 5-2-3-8)。

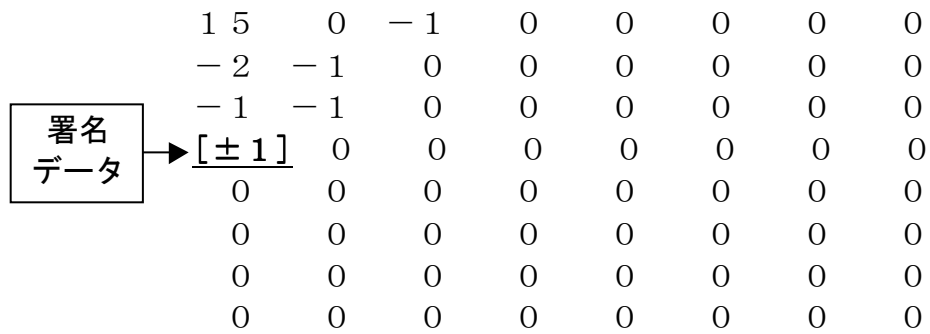


図 5-2-3-8 署名データ埋め込みイメージ

この方法では、DCT 係数のランレングス構造が DCT ブロックの最後に埋め込まれている。したがって、この構造が 1 ビットでも改ざんされれば、それを確実に検知することが可能である。

また、最後の DCT 係数は「+1」か「-1」の値しか取らないから、それを他の値に変更した場合も、確実に改ざんを検知できる。また、後述する手法を用いれば、画像が復号された後でも、同じ量子化器を用いて、ランレングス構造を調べれば、真正性の検査が可能である。

### 5-2-3-3-3 改ざんに対する性能の評価

真正性を証明する電子透かしでは、画像が変化していないこと（画像の同一性）を、DCT 係数の量子化の構造が同一であることと定義している。したがって、ビットマップとして表現される RAW データの段階では、2 つの画像データは完全に一致する必要はない。ここでは、同一の範囲について 2 つの観点から評価を行う。第 1 の観点は、透かしをいれた画像の信号変化に対する耐性の観点である。ここでは、透かしを入れて JPEG 符号化した画像に信号変化を加えて、どれだけ透かしが残存するかを評価する。信号変化として、JPEG による再圧縮する場合と、ガウス雑音を付加する場合を考える。第 2 の観点は、悪意のある改ざんに対する耐性の観点である。ここで、改ざんの目的は、透かしに検知されることなく、画像信号を変更することである。このような改ざんは、アルゴリズムと量子化幅を知っていれば、DCT 係数に量子化幅の半分の信号をランダムに付加することによって行うことができる。この改ざんの程度は量子化に依存するが、最も細かい量子化を行った場合には、よくみれば劣化がわかる程度であることを示す。この改ざんは透かしの量子化の範囲で修復が可能である。

#### 1) 同一性の定義

真正性を証明する電子透かしでは、画像が改ざんされていないこと、すなわち、二つの画像が同一であることを次のように定義する。

【同一性の定義】二つの画像の DCT 係数を同じ量子化パラメータで符号化した場合に、量子化インデックスが全く同じになるとき、これらの画像は同一であるという。

この定義によれば、DCT 係数の値が、量子化幅の範囲で変動しても画像の同一

性は保たれる。以下、この定義に基づいて、信号処理に対する耐性と悪意のある改ざんに対する耐性を評価する。

## 2) 実験結果

### [ 再符号化の耐性 ]

透かしを入れた画像を復号した後、再び（透かしなしで）JPEG 圧縮した場合に透かしが残るブロックの割合を求めた。表 5-2-3-1 に実験結果を示す。ここで、S は量子化テーブルのスケール値であり、図 5-2-3-10 の量子化テーブルにこの S の値を乗じたものが実際の量子化幅である。この値が小さいほど DCT 係数が細かく量子化される。テスト画像として、JIS X 9201 準拠「高精細カラーデジタル標準画像データ (ISO/JIS-SCID)」から、N1(ポートレート)、N2(カフェテラス)、N3(フルーツバスケット)の3つを選択し、それらをグレースケールに変換したものを用いた。

表 5-2-3-1 から、再符号化の量子化が細かいほど、透かしがよく残存することがわかる。また、透かしの強度を強くすれば（埋め込み時の量子化を粗くする）、より高い確率で透かしが残存する。

表 5-2-3-1 再符号化耐性の評価

ファイル	再 JPEG 符号化時透かし画質埋め込み時画質	透かし検出率				
		S=1/1	S=1/2	S=1/4	S=1/8	S=1/16
N1G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	44.69%	86.72%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	54.38%	100%	100%
N2G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	24.84%	98.59%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	52.97%	100%	100%
N3G. BMP	S=1/1	100%	100%	100%	100%	100%
	S=1/2	0%	47.81%	98.91%	100%	100%
	S=1/4	0%	0%	70.16%	100%	100%

※S は量子化値(Q)に掛ける係数。S が小さいほど、画質は向上する。S=1 の場合、JPEG の標準量子化テーブルで量子化を行う。

[ 付加雑音に対する耐性 ]

表 5-2-3-2 は、透かしを入れた画像に、平均値 0 のガウス雑音を付加した場合の、透かしの残存率を、正しく復号されたブロックの割合で表示したものである。この表から、 $\sigma=1$  (PSNR で 48dB) では、幾分の透かしが残ることがわかる。特に、透かしの強度が強い場合には (S=1) 100%に近い透かしの残存が認められる。この透かしは、 $\sigma=2$  (PSNR で 42dB) ではほとんど残らない。

表 5-2-3-2 ガウスノイズ耐性

ファイル	ガウス アンノイズ 透かし強度	透かし検出率		
		$\mu=0$ $\sigma=1$	$\mu=0$ $\sigma=2$	$\mu=0$ $\sigma=3$
N1G. BMP	S=1/1	99.84%	1.72%	0.00%
	S=1/2	67.03%	0.00%	0.00%
	S=1/4	50.63%	0.00%	0.00%
N2G. BMP	S=1/1	99.84%	1.09%	0.00%
	S=1/2	71.09%	0.00%	0.00%
	S=1/4	52.66%	0.00%	0.00%
N3G. BMP	S=1/1	100.00%	2.50%	0.00%
	S=1/2	71.09%	0.00%	0.00%
	S=1/4	52.50%	0.00%	0.00%

[ 悪意のある改ざんに対する耐性 ]

ここでいう悪意のある改ざんとは、透かしによって検出されないように意図的に画像を変化させることをいう。JPEG されたビットストリームに対する電子透かしでは、JPEG の量子化の範囲で画素の値を変更しても、透かし検出に影響を与えない。

図 5-2-3-9 は、DCT 係数に量子化幅の 1/8 の値を、透かしを入れた画像に加算して得られた画像である。この画像は実際は変更されているにもかかわらず、電子透かしはそれを検知することができない。ここで、量子化テーブルは図 5-2-3-10 のものをスケールなしに用いた。この量子化はかなり粗いものである。DCT 係数は最大で量子化幅の 1/2 まで変更できるが、実際には画像データの整数化などのために、DCT 係数の値が量子化の中央に位置しない場合があるので、通常はそこまで変更することはできない。この画像では、変更幅を 1/8 より大きくすると画像の変更が検知された。全ての DCT 係数に正の値を加えているので、DCT ブロック単位のインパルス状の妨害が現れているのがわかる。この妨害は人工的で、変更されているのがわかる。

改ざん可能な値の範囲は量子化の精度に依存する。この電子透かしの最も細かい量子化は全ての DCT 係数について Q=8 の場合である。図 5-2-3-11 はこの場合の改ざん画像である。ここで、全ての DCT 係数に Q/4 の偏差を加えた。この画像では、図 5-2-3-9 に比べて妨害が小さくなっていることがわかる。注意深く見なければ、人間はそれを知覚することが困難である。



図 5-2-3-9 故意に改ざんした画像 (粗い量子化)

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

図 5-2-3-10 量子化テーブル



図 5-2-3-11 故意に改ざんした画像（細かい量子化）

### 3) 改ざんからの復元

このアルゴリズムは、量子化の構造が保存されている場合には、それを量子化の代表値に戻すことによって、前節で述べた悪意のある改ざんを消去することが可能である。ただし、JPEG 符号化と電子透かしで異なる量子化テーブルを用いる場合は、電子透かしの量子化の範囲で復元することができる。また、量子化の構造が保存されていない場合には、復元することはできないが、改ざんされていることを知ることができる。

### 4) まとめ

JPEG 画像の真正性を証明する電子透かし方式について、透かしを入れた画像が変更された場合の透かしの残存率を、信号処理に対する観点と、悪意のある改ざんに対する観点から評価した。この方式は、DCT 係数の量子値が保たれることを変化の基準としているので、一般に、このような変化に対する閾値が小さい。すなわち、わずかな変化でもそれを検知して、透かしがこわれてしまう。このことは、同一性を厳密に要求するアプリケーションにおいて有用であろう。改ざんされた画像の画質は、量子化が最も細かい場合は、よく見てわかる程度である。この改ざんは透かしが破壊されていない限り、電子透かしの量子化精度の範囲で除去することが可能である。

## 参考文献

[1] 伊藤他、「JPEG 画像の真正性を証明する電子透かしの方法」、信学総合大会、2003 年 3 月。

### 5-2-3-3-4 電子透かしを保存する JPEG 復号方法の開発

デジタルカメラなどで撮影された画像は編集や加工が容易であるため、それが改ざんされていないことを証明することが要求される応用分野は多い。例えば、監視画像に証拠性を与えたり、電子商取引の原本性の証明として用いたりする場合に有用である。電子透かしは、画像データそのものに認証のための情報を埋め込むので、フォーマットを変換したり、画像の一部を切り取ったり、動画画像からフレームを抜き出したりした場合でも、当該部分の画像の変化がない限り、その認証能力が失われることはない。そのような意味で、電子透かしによる認証は、デジタル署名などによる認証に比べて、柔軟な画像の取り扱いを可能にする技術であると言える。ここでは、電子透かしを埋め込んで JPEG 符号化された画像データが、ビットマップデータに復号される場合に、凸射影法の原理を用いて電子透かしを失うことなく復号する方法を提案する。凸射影法は二つの凸集合があるとき、その間で直交射影を繰り返すことにより、両方の集合に属する解を求める手法である。本提案の原理は、 $[0, 255]$  の範囲の画素データの集合と、電子透かしが失われない一定の量子化の範囲にある画素データの集合を与えて、二つの集合のどちらにも属する復号ベクトルを得ようとするものである。計算機シミュレーションによってその動作を確認した。

#### 1) JPEG 復号における電子透かしの消失とその対策

画像信号は、JPEG や MPEG など圧縮されたデータとして表現される場合が多いので、そのような表現に直接電子透かしを埋め込む方法が提案されている [1][3][4]。このような方法で埋め込まれた情報は、通常、画像データが元の JPEG や MPEG のストリームの形態である限り失われることはない。しかし、それを一旦復号すれば、Raw データ（圧縮されていない画素値で表現される形態）の画像信号の中に、電子透かしが残存することは一般に保証されない。特に、「壊れやすい透かし」を利用した画像の真正性を証明する電子透かしなど [1] の場合には、復号による透かしの消失は生じやすい。復号された信号において電子透かしが失われると、画像のフォーマット変換や編集が自由にできないため、電子透かしの有用性は著しく損なわれる。

JPEG などの復号の結果、電子透かしが消失する原因の一つは、DCT 係数が逆変換されて画素値に戻されるときに、画素値として表現可能な値の範囲（ダイナミックレンジ、例えば  $[0:255]$  の範囲）を超えてしまう場合があることである。このような画素値は規定の範囲にクリップされるので、このブロックをもう一度 DCT してももとの値に一致せず、そこに埋め込まれていた情報は消失する。渡辺らは電子透かしを DCT 係数などの変換領域で埋め込むとき、埋め込み後の画像の画素値がダイナミックレンジを超えて透かしが消失する問題について検討を行っている [2]。彼らは、量子化を用いた電子透かしにおいて、対象となる DCT 係数を同じ埋込みビットに対応する別の量子化代表値に置き換える方法と、その係数の量子化値が変化しないようにダイナミックレンジ内の画素値を変更する方法を相補的に用いることによって、電子透かしを埋め込んだ後の画像データがダイナミックレンジを超えるのを防止した。しかし、この方法は、透か

しの埋め込みは変換領域で行われるが、それを埋め込んだ後の画像の表現は時間領域であり、符号化されたものではなかった。

復号された Raw データの画素値がダイナミックレンジを超えないようにするには、透かしの埋め込み側において予め信号ベクトルを変換領域で操作し、それを逆変換した場合に全ての成分がダイナミックレンジに入るように加工しておけばよい。この方法は確実に動作するが、DCT の後に量子化されたベクトルがダイナミックレンジに収まるという条件は、しばしば、かなり厳しい制約である。このため、画像によっては、この処理に起因する劣化が目立つ場合があった。

本節では、符号化された DCT ベクトルを、ダイナミックレンジの条件と透かしの残存の条件の二つの条件を共に満たす画素値のベクトルに復号する方法を検討する。この方法は、ダイナミックレンジを満たすベクトルの集合 A と、透かしの残存を満たすベクトルの集合 B の間で直交射影を繰返すことによって、両方の集合に共通に存在するベクトルを探索するものである。そのような整数値のベクトルを高い確率で見つけるためのアルゴリズムを与える。この復号方法を用いれば、DCT 係数のベクトルは画素値のダイナミックレンジの中に入っていなくてもよく、集合 A と集合 B に共通解が存在すればよいので、画質を大きく劣化させることなく復号後の電子透かしの消失を防止することができる。

## 2) 凸射影法を用いた DCT ブロックの復号方法

凸射影法は二つの集合 X、Y が共に凸集合（集合に属する二つの要素を両端の点とする線分上の点はまたその集合に属するという性質をもつ集合）であるとき、任意の初期値から始めて集合 X と集合 Y への射影を繰り返すことによりその共通の解を求める手法である [7]。図 5-2-3-12 は 2 つの凸集合 X と Y があるとき、一つのベクトル  $y^0 \in Y$  を初期値として、集合 X と集合 Y への射影を繰返すことによりベクトル  $x^0, x^1, \dots$  が順に求められる様子を示している。この操作を繰返せば、 $x^i$  は X と Y に共通に属するベクトル  $x^n$  に限りなく近くなる。

ここで、X はその全ての成分が  $[0, 255]$  の範囲にあるような n 次元の実数ベクトルの集合とする。すなわち、

$$X = \{x = (x_0, x_1, \dots, x_{n-1}) \mid 0 \leq x_i \leq 255, i = 0, \dots, n-1\} \quad (5-2-3-3)$$

である。また、Y は DCT 変換後に量子化パラメータ  $Q = \{q_0, \dots, q_{n-1}\}$  で量子化した値が  $\hat{y}^0 = Q(y^0)$  となるような n 次元実数ベクトルの集合とする。すなわち、

$$Y = \{x \mid Q(T(x)) = \hat{y}^0\} \quad (5-2-3-4)$$

である。ただし、 $T(\cdot)$  は DCT 変換の演算子、 $Q(\cdot)$  は量子化パラメータ  $Q = \{q_0, \dots, q_{n-1}\}$  で量子化する演算子の意味で用いた。



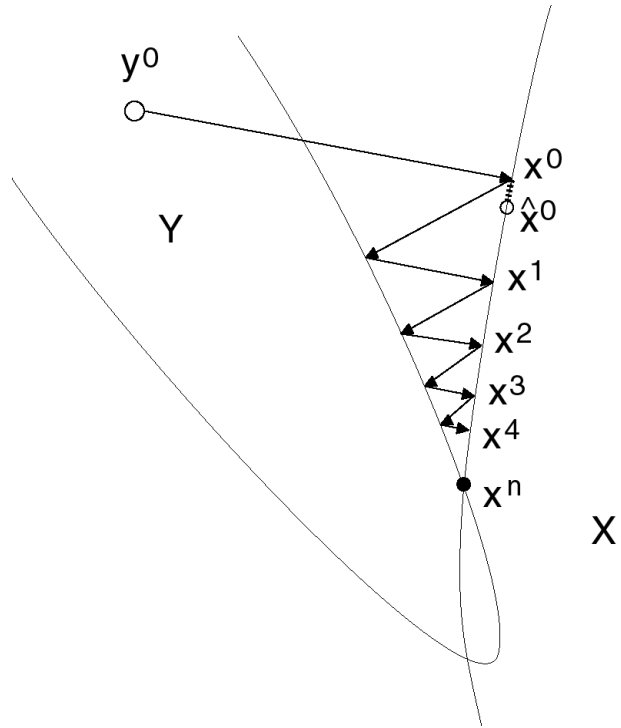


図 5-2-3-12 凸投影法によるベクトルの復号

また、DCT 変換はベクトル  $x$  を座標変換するものとみなせるが、図 5-2-3-12 においては、ベクトル  $y^0$  は座標変換する前の（時間領域での）座標で表現してある。式 (5-2-3-4) において、集合  $Y$  を  $y^0$  を用いて表せば次式となる。

$$Y = \{y \mid y_i^0 - q_i/2 \leq y_i < y_i^0 + q_i/2, i = 0, \dots, n-1\} \quad (5-2-3-5)$$

すなわち、集合  $Y$  は  $y^0$  の近傍に存在するベクトルの集合であり、その大きさは量子化ベクトル  $Q$  で決まる。

さて、符号化されたベクトル  $\hat{y}^0$  を復号するという事は、これを逆量子化した後、逆 DCT して時間領域のベクトルを求めることである。このベクトルを  $x^0$  とすれば、

$$x^0 = T^{-1}(Q^{-1}(\hat{y}^0)) \quad (5-2-3-6)$$

と書ける。しかし、このベクトルは実数ベクトルであって、しかも、集合  $X$  の外にあるかもしれない。そこで、これを集合  $X$  に射影し、その成分を整数値に丸めたベクトルを  $\hat{x}^0$  とし、

$$\hat{x}^0 = \text{int}(P_X(x^0)) \quad (5-2-3-7)$$

を求める。ここで、 $P_X(\cdot)$  は集合  $X$  への直交射影、 $\text{int}(\cdot)$  は実数ベクトルを整数ベクトルに丸める演算を表す。通常の JPEG 復号では、このベクトル  $\hat{x}^0$  を復号ベクトルとする。このベクトルを図 5-2-3-12 に示した。この場合、 $\hat{x}^0$  は集合  $Y$

の要素でない。

電子透かしについて考えると、 $\hat{x}^0$ が集合 Y の要素でないことは、これをそのまま復号ベクトルとすると、DCT 領域に埋め込まれていた電子透かしは失われることを意味する<sup>1</sup>。電子透かしを保存するには、 $\hat{x}^0$ を修正して、集合 Y に存在する別のベクトルを復号しなければならない。今、図 5-2-3-12 に示すように集合 Y と集合 X の間で凸射影を繰り返せば、 $x^n$ はその成分が全て[0, 255]の範囲にあって、それを DCT して量子化すれば $\hat{y}^0$ となるようなベクトルであるから、求める復号ベクトルの条件を満たしていることがわかる。X と Y は凸集合であるからそのような $x^n$ は常に求めることができる。そこで、 $x^n$ に最も近い整数ベクトルを $\hat{x}_n$ とすると、 $T(\hat{x}_n) \in Y$ ならば求めるベクトルが得られたことになる。

ところが、 $T(\hat{x}_n) \in Y$ は常に成り立つとは限らない。その場合には別の整数ベクトルを探索しなければならない。図 5-2-3-13 は集合 Y そのものでなく、その部分集合をなす別の凸集合 Z と集合 X との間で凸射影を繰り返す場合に得られるベクトルを示す。ここで、Z は次式で定義される集合である。

$$Z = kY = \{y \mid -y_i^0 - kq_i/2 \leq y_i < y_i^0 + kq_i/2, i = 0, \dots, n-1\} \quad (5-2-3-8)$$

ただし、k は[0:1]の範囲の実数である。Z は Y の領域の大きさをその全ての成分の方向に k 倍に縮小したものである。k=1 ならば Z=Y である。このような集合 Z を用いれば集合 X ∩ Y のより深くに存在するベクトル $x^n$ が探索されることがわかる。このベクトルを整数ベクトルに丸めれば $T(\hat{x}_n) \in Y$ となる確率はより高いであろう。このことから、X と Y を用いて求める整数ベクトルが得られない場合は、Y の範囲を少しずつ狭めながら直交射影を繰り返せば、最終的に求めるベクトルが得られる確率は高いと考えられる。

以上の観察から、 $y^0$ を復号する次のアルゴリズムが得られる。ただし、 $Q_c$ は符号化のための量子化ベクトル、 $Q_w$ は電子透かしのための量子化ベクトルである ([3]および次節参照)。

[ アルゴリズム 1 (復号アルゴリズム) ]

- Step 1  $k \leftarrow 1, y \leftarrow Q_c^{-1}(\hat{y}^0)$   
 Step 2  $x \leftarrow P_X(T^{-1}(y))$   
 Step 3 if  $|x - T^{-1}(y)| < \varepsilon$ , then go to Step 5  
 Step 4  $y \leftarrow P_{kY}(T(x))$ , go to Step 2.  
 Step 5 if  $Q_w(T(\text{int}(x))) = Q_w(Q_c^{-1}(\hat{y}^0))$ , then stop.  
 Step 6  $k \leftarrow rk$ , go to Step 4.

ここで、Step1 では、受信した変換領域のベクトルを逆量子化して凸射影のための初期値ベクトルを得る。Step2 は、このベクトルを集合 X に直交射影する。Step3 では、この射影による変化の大きさによって凸射影の繰り返しの収束を判定する。この繰り返しの収束は保証され、一意の解が得られることが知られている [7]。この変化が小さくない場合は収束に達しないとして Step4 へ進み、集合 Z への直交射影が施される。ここで、集合 Z は集合 Y を k 倍に縮小した部分集合

<sup>1</sup> ただし、ここでは、文献 [1] のような方法で電子透かしは埋め込まれており、量子化インデックスが変化すると情報は消失するとした。しかし、そのような方法でなくても、量子化インデックスを不変とする以下の復号方法は符号化ストリームに埋め込まれた電子透かしの情報を完全に保つので有用である。

である。k の初期値は 1 である。Step2~Step4 は収束が得られるまで繰り返される。Step3 において収束が判定された場合には、Step5 において、得られたベクトル  $x$  を整数ベクトルに丸めた後、それを DCT 変換して  $Q_w$  で量子化した結果が  $\hat{y}^w = Q_w(Q_c^{-1}(\hat{y}^0))$  に一致するかどうかを判定する。これが成り立てば、 $\hat{x} = \text{int}(x)$  を解とする。そうでなければ、Step6 において、k を r 倍 ( $r < 1$ ) に小さくして、直交射影を繰り返す。

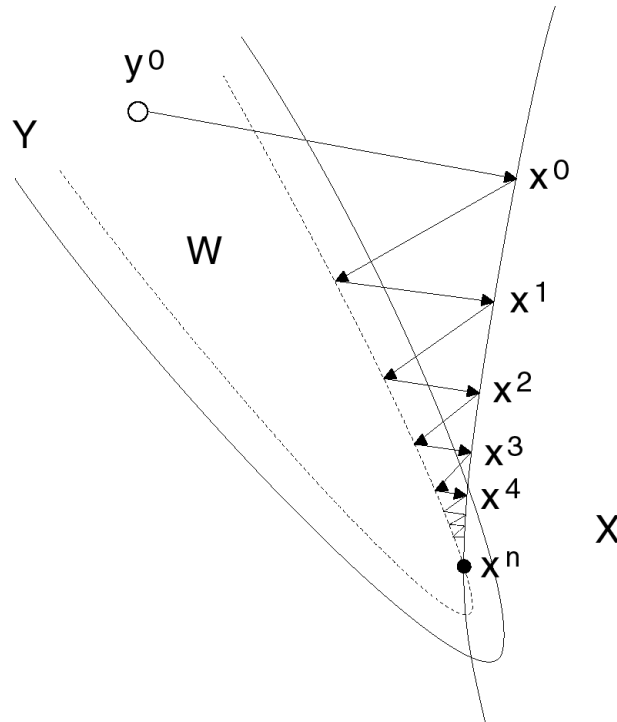


図 5-2-3-13 部分集合を用いた凸射影法

このアルゴリズムが必ず条件を満たす整数ベクトルに帰着する証明はない。しかし、X と Y の共通部分が十分大きければ、解を見つける可能性は高いと考えられる<sup>2</sup>。

### 3) 凸射影復号を前提とする認証用電子透かしの埋め込み方法

ここでは、認証用電子透かしとして、文献[1]のものを埋め込むことにする。また、高画質な JPEG 圧縮に対応するため、量子化ベクトルとして、電子透かしのために、

$$Q_w = \{q_0^w, q_1^w, \dots, q_{n-1}^w\} \quad (5-2-3-9)$$

符号化のために、

$$Q_c = \{q_0^c, q_1^c, \dots, q_{n-1}^c\} \quad (5-2-3-10)$$

<sup>2</sup> 全ての DCT 係数をステップ幅 8 で一様量子化すれば、集合 Y に属する整数ベクトルの数はおよそ  $8^{64} = 2^{192} \approx 10^{58}$  に達する。そのうち  $1/10000$  が集合 X に属するとすれば、 $X \cap Y$  に属する整数ベクトルの数はおよそ  $10^{54}$  個である。アルゴリズムはこの中から 1 つの解を見つけられればよい。

を用いる。ただし、これらの量子化ベクトルに関して、すべての  $i$  について、

$$q_i^w \geq 8 \quad (5-2-3-11)$$

と、

$$q_i^c \leq q_i^w \quad (5-2-3-12)$$

の関係が満たされなければならない。電子透かしは、この後述べる方法にしたがって、マージンを加算した画素値のベクトル  $x$  を DCT して変換係数のベクトル  $y$  を求め、このベクトルを  $Q_w$  で量子化した量子化インデックスのベクトル  $\hat{y} = Q_w(y)$  に対して、埋め込み位置  $p$  の量子化インデックスを

$$\hat{y}_p = \begin{cases} -1 & \text{if bit} = 0 \\ 1 & \text{if bit} = 1 \end{cases} \quad (5-2-3-13)$$

に変更することによって埋め込まれる。また、符号化の量子化インデックス  $\hat{y}^c$  は、電子透かしが埋め込まれた  $\hat{y}$  を  $\hat{y}^w$  とするとき、

$$Q_w(Q_c^{-1}(\hat{y}^c)) = \hat{y}^w \quad (5-2-3-14)$$

を満たす  $\hat{y}^c$  のうち、

$$d = |Q_c^{-1}(\hat{y}) - x| \quad (5-2-3-15)$$

を最小とするベクトルとして与えられる。このベクトルは、 $\hat{y}^w$  を  $Q_w$  で逆量子化したベクトルを  $y^w = Q_w^{-1}(\hat{y}^w)$  とすれば、次式で計算できる。

$$\hat{y}_i^c = \begin{cases} \lceil (y_i^w - q_i^w/2)/q_i^c \rceil & \text{if } q_i^c \lceil x_i/q_i^c \rceil < y_i^w - q_i^w/2 \\ \lceil x_i/q_i^c \rceil & \text{if } y_i^w - q_i^w/2 \leq q_i^c \lceil x_i/q_i^c \rceil < y_i^w + q_i^w/2 \\ \lceil (y_i^w + q_i^w/2)/q_i^c \rceil - 1 & \text{if } y_i^w + q_i^w/2 \leq q_i^c \lceil x_i/q_i^c \rceil \end{cases} \quad (5-2-3-16)$$

ただし、 $\lceil x \rceil$  は  $x$  より小さくない最小の整数である。式(5-2-3-12)の条件からこのようなベクトルは必ず存在する。

さて、凸射影復号が解をもつ必要条件是、 $X \cap Y$  が少なくとも一つの整数ベクトルを含むことである。渡辺らの方法[2]はこの条件を満たす。しかし、この方法は、特定の DCT 係数に埋め込むビットが既知である場合に、この DCT 係数の量子化値を保存するように画素値を変更するものであり、この変更によって他の DCT 係数の値が変化する。文献[1]の電子透かしでは、埋め込むビットの値は他の DCT 係数の量子化値に依存するから、このような方法を用いることができない。したがって、ここでは、以下に示すように、凸射影法を応用した処理を

画像信号に施した後に電子透かしを埋め込むことにする。

[ 符号化方法 ]

- 1) 符号化しようとする画素値のベクトル  $x$  を DCT 変換し、 $Q_w$  で量子化したベクトルから透かしの埋め込み位置を文献[1]の方法で求める。この位置を  $p$ 、埋め込み位置を求める関数を  $pos(\cdot)$  とすれば、

$$p = pos(Q_w(T(x))) \quad (5-2-3-17)$$

である。

- 2) 集合  $X$  を次式で定義する。

$$X = \{x \mid m_i \leq x_i \leq 255 - m_i\} \quad (5-2-3-18)$$

ただし、 $m_i$  は  $x_i$  に対する電子透かし埋め込みのためのマージンであり、

$$w_i = \begin{cases} q_p^w & \text{for } i = p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-2-3-19)$$

を成分とするベクトル  $w$  を逆 DCT 変換して得られるベクトルを  $v$  とするとき、

$$m_i = c |v_i| \quad (5-2-3-20)$$

与えられる。ここで、 $c$  は定数で、 $c=1.5$  が適当である。

- 3) 量子化ベクトル  $Q$  を以下のように定義する。

$$q_i = \begin{cases} \infty & \text{for } i < p \\ q_i^w & \text{for } i \geq p \end{cases} \quad (5-2-3-21)$$

- 4) 集合  $Y$  を次式で定義する。

$$Y = \{y \mid Q(y) = 0\} \quad (5-2-3-22)$$

- 5) ベクトル  $x$  を初期値として、凸射影法によって集合  $X$  と  $Y$  の共通解  $x_n$  を求める。
- 6) ベクトル  $x_n$  を DCT して  $Q_w$  で量子化し、位置  $p$  に透かしの埋め込んで量子化インデックスのベクトル  $\hat{y}^w$  を得る。
- 7)  $\hat{y}^w$  と式(5-2-3-16)から符号化された量子化インデックス  $\hat{y}^c$  を得る。

集合  $X$  は、電子透かしの埋め込み後に (0 を埋め込んでも 1 を埋め込んでも)、全ての成分が [0:255] の範囲となるようなベクトル  $x$  の集合である。また、集合  $Y$  は  $Q$  で量子化した後に全ての成分が 0 となるような DCT 係数のベクトルであるが、 $Q$  は式 (5-2-3-21) のように与えられているので、 $i \geq p$  である DCT 係数が  $Q_w$  で量子化したときに値が全て 0 となるようなベクトルに等しい。ここで、 $i < p$  である係数には何の制約もない。ベクトル  $x^n$  は集合  $X$  と集合  $Y$  の共通要素であるから、これを DCT して  $Q_w$  で量子化すれば、 $i \geq p$  である DCT 係数の量子化インデックスは全て 0 になる。したがって、埋め込み位置は変化しない。また、このベクトルは埋め込み位置  $p$  に透かしを埋め込むことによって、個々の成分の値がダイナミックレンジを超えることはない。

また、 $x^n$  は実数ベクトルであるが、6)~7) においては、これを整数ベクトルに丸めることなく、そのまま符号化を行っている。凸射影復号が解を持つ条件は  $X \cap Y$  を満たす整数ベクトルが存在することであるから、 $X \cap Y$  の大きさが十分大きい場合には、解は存在すると仮定して、 $x^n$  を整数ベクトルに戻すことなく、そのまま符号化してよい。

なお、次節の実験では、集合  $X$  を式 (5-2-3-17) でなく、次式で定義した。

$$X = \{x \mid m \leq x_i \leq 255 - m\} \quad (5-2-3-23)$$

ただし、

$$m = \max_i m_i \quad (5-2-3-24)$$

である。この定義によれば、式 (5-2-3-17) の定義よりも  $X \cap Y$  を大きくとることができる (ただし、前処理による誤差は増加する)。

#### 4) 計算機シミュレーション

##### [ 収束性の評価 ]

テスト画像の N2 (カフェテラス) と S2G (くさび模様) に前節の方法で電子透かしを埋め込み、アルゴリズム 1 の凸射影による復号を施して電子透かしの残存率を測定したところ、全ての場合で 100% となった。ここで、DCT 係数の量子化は  $q=1, 0.1, 0.01$  とした。ただし、 $q$  は文献 [6] で与えられる高域を粗くした量子化マトリクスに乗じる係数であり、これが小さいほど量子化は細くなる。また、量子化幅は 1 以上の整数値に丸めた。 $q=1$  の場合、 $Q_w=Q_c$  である。 $q=0.01$  では、 $Q_c=\{8, 8, \dots, 8\}$ 、 $Q_w=\{1, 1, \dots, 1\}$  となる。表 5-2-3-3 はアルゴリズムが収束した時点の  $k$  の分布をブロックの数で示したものである。ここで、 $k=0.95^n$  とし、整数化によって復号ベクトルが  $Y$  の外に出る場合には、 $k$  の値を 5% ずつ小さくするようにした。表から、量子化が粗いときは  $k$  の値が比較的 1 に近いところで収束が得られていることがわかる。しかし、量子化を細かくすると、 $k$  の値を小さくしなければ収束が得られない。そして、さらに量子化を細かくすると、 $k$  の特定の値 (およそ  $k=0.7$ ) 付近に収束点が集中する傾向が見られる。

プログラムの変数をチェックしたところ、このような場合には、 $k$ の減少に伴って凸射影の収束ベクトルである  $x$  は変化するが、それを整数化した  $\hat{x}$  は最初の数回の繰り返しにおいて変化しないことがわかった。そのため、 $\hat{x}$  が変化し始める  $k=0.7$  付近に収束が集中した。量子化は復号アルゴリズムの初期値にだけ影響を与えるので、アルゴリズムの動作が初期値に依存することが示唆される。

#### [ 演算量の増加 ]

ここでは、アルゴリズム 1 による復号の演算量を、通常の JPEG 復号と比較して評価する。復号において最も複雑な処理は DCT 演算であるから、その回数を数えれば演算量のおおまかな増加を推定することができる。ただし、DCT の逆変換は DCT 変換と同程度の演算量とみなす。表 5-2-3-4 は、N2 と S2G の二つの画像を異なる量子化パラメータで電子透かしを埋め込みながら符号化したものを、アルゴリズム 1 によって復号した場合の演算量の増加を計算した表である。N2 と S2G の DCT ブロックの数はそれぞれ 81920 と 2304 である。通常の JPEG 復号はブロックごとに 1 回だけ逆 DCT を施せばいいので、DCT 演算の数は DCT ブロックの数に等しい。アルゴリズム 1 では、この通常の逆 DCT の他に、得られたベクトルに電子透かしが残っていることを確認するために必ず 1 回 DCT を行わなければならない。したがって、アルゴリズム 1 は最低でも通常の JPEG 復号の 2 倍の演算量が必要である。また、凸射影を一巡させると（集合  $Y$  と集合  $X$  への射影を 1 回ずつ行う）、その間に逆 DCT と DCT が必要なので、2 回の変換を要する。この凸射影の回数は、画像と量子化パラメータにより異なるが、表 5-2-3-4 の第 3 行に示すように量子化が細くなるにしたがって少なくなり、また、S2G などのパターン信号は N2 などの自然画像に比べて多い。次に、集合  $Y$  の大きさを縮小すると、透かし残存の判定のために逆 DCT を 1 回、判定が否となる時、縮小した集合  $Y$  を用いた凸射影が一巡必要なので合計 3 回の変換が必要になる。この縮小操作の回数は表 5-2-3-4 の第 4 行に示した。これらを全て足し合わせた DCT 変換・逆変換の回数が表 5-2-3-4 の第 5 行に示してある。また、表 5-2-3-4 の最後の行にこれをブロック数で除した値を表示した。これらの数値から、演算量の増加について、N2 では 2 倍からそれほど大きく増加することはない、最も量子化の粗い場合でも 2.30 倍であるが、S2G では、 $q=1$  の場合、JPEG 復号の 5.09 倍の演算を必要とする。この値は量子化を細かくすれば減少し、 $q=0.01$  では 2.02 倍となって、凸射影による演算量の増加はほとんどなくなることがわかる。

#### 5) 他の方法との比較

クリッピング問題への対処の方法として、 $y^0$  が集合  $X$  に含まれるように、符号化側において画像信号を修正する方法が考えられる。この  $y^0 \in X$  という条件は、凸射影復号を可能にする条件  $Y \cap X \neq \emptyset$  よりも厳しい。そのため、急峻なエッジが存在する画像では、画像信号の修正に起因する劣化が目立つ場合がある。図 5-2-3-14 の上の図は、S2G にこの方法によって電子透かしを埋め込んで、それを JPEG 復号（電子透かしは保存される）した画像である。ここで、 $Q_w = \{8, 8, \dots, 8\}$ 、 $Q_c = \{1, 1, \dots, 1\}$  である。模様が変化する部分でブロック状の妨害が顕著である。これは、特定のブロックにおいて画像の修正が強く働いて高域周波数成分が減衰したためと考えられる。図 5-2-3-14 の下の図は、提案した方法で電子透かしを埋め込み、これを凸射影復号して得られた画像である。ただし、 $Q_w = \{8, 8, \dots, 8\}$ 、 $Q_c = \{1, 1, \dots, 1\}$  である。この画像では、電子透かしは保存さ

れている上に、ブロック状の妨害は見られない。これは、凸射影復号のための条件が緩やかなためである。

表 5-2-3-3 解が得られたkの値 (ブロック数)

n	k	N2. bmp			S2G. bmp		
		q=1.0	Q=0.1	q=0.01	q=1.0	q=0.1	Q=0.01
0	1.000	81787	81772	81470	2180	2247	2296
1	0.950	77	8	0	57	4	0
2	0.903	48	11	0	60	19	0
3	0.857	6	24	0	7	20	0
4	0.815	2	14	0	0	5	0
5	0.774	0	8	0	0	2	0
6	0.735	0	54	363	0	7	7
7	0.698	0	27	86	0	0	1
8	0.663	0	2	1	0	0	0
9	0.630	0	0	0	0	0	0
total	-	81920	81920	81920	2304	2304	2304

表 5-2-3-4 演算量の増加

	N2. bmp			S2G. bmp		
	q=1.0	q=0.1	q=0.01	q=1.0	q=0.1	Q=0.01
# of projections	12173	4579	9	3376	1480	13
# of resizing	133	148	450	124	57	8
# of dct/idct's	188585	173342	165208	11732	7739	4658
for decoding	81920	81920	81920	2304	2304	2304
for checking	81920	81920	81920	2304	2304	2304
for projection	24346	9058	18	6752	2960	26
for resizing	399	444	1350	372	171	24
complexity increase	2.30	2.12	2.02	5.09	3.36	2.02

## 6) まとめ

電子透かしを埋め込んで符号化したビットストリームを電子透かしを失うことなく復号する新たな方法を提案した。復号されるベクトルは整数ベクトルであるため、この方法の収束性は今のところ証明されていない。凸射影に用いる二つの制約を満たす集合を十分大きくとることによって、ほとんどの場合に解が得られる可能性を示した。解が存在するための条件を明確にすることは今後の課題である。



(参考文献)

- [1]伊藤、馬養、鈴木、「JPEG 画像の真正性を証明する電子透かしの方法」、D-11-33、信学総合、2003年3月.
- [2]渡辺、長谷川、加藤、「直交変換利用型電子透かしにおける無攻撃時の透かし情報消失防止についての検討」、画像電子学会誌、2003年1月.
- [3]A. Westfeld, “High capacity despite better steganalysis (F5-A steganographic algorithm),” Information Hiding International Workshop, LNCS-2137, pp. 289-302, 2001.
- [4]F. Hartung and B. Girod, “Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain,” ICIP-97.
- [5]西、安藤、「超解像に見る多次元信号処理と逆問題」、計測と制御、vol. 31、no. 9、pp. 962-967、1992年9月.
- [6]G.K.Wallace, “The JPEG still picture compression standard”, IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. 18-34, Feb. 1992.

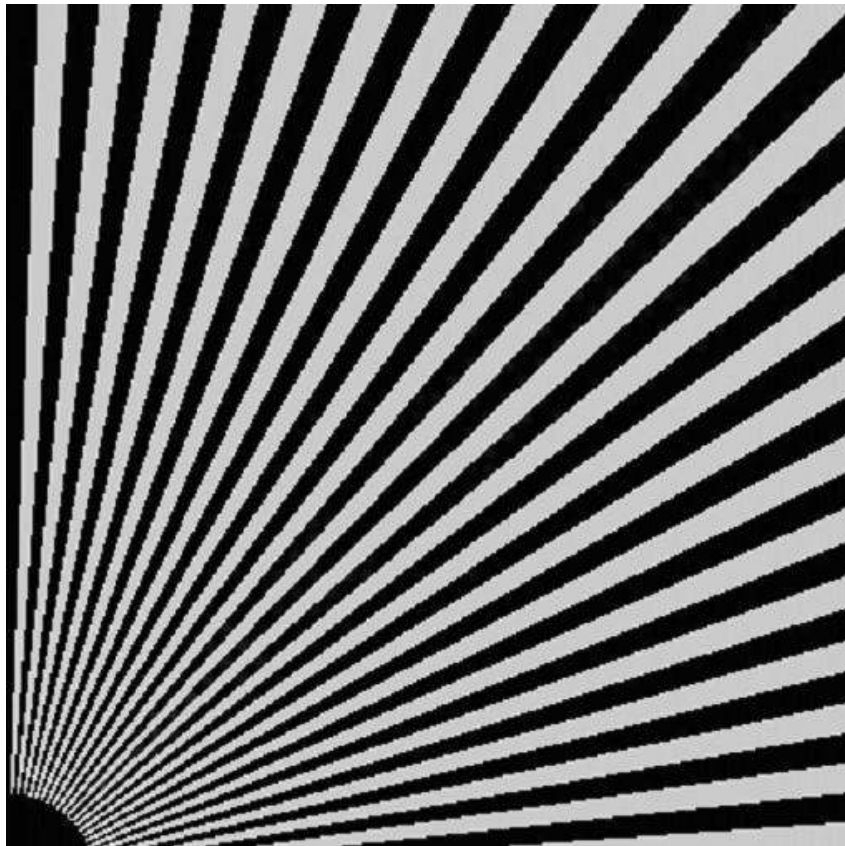
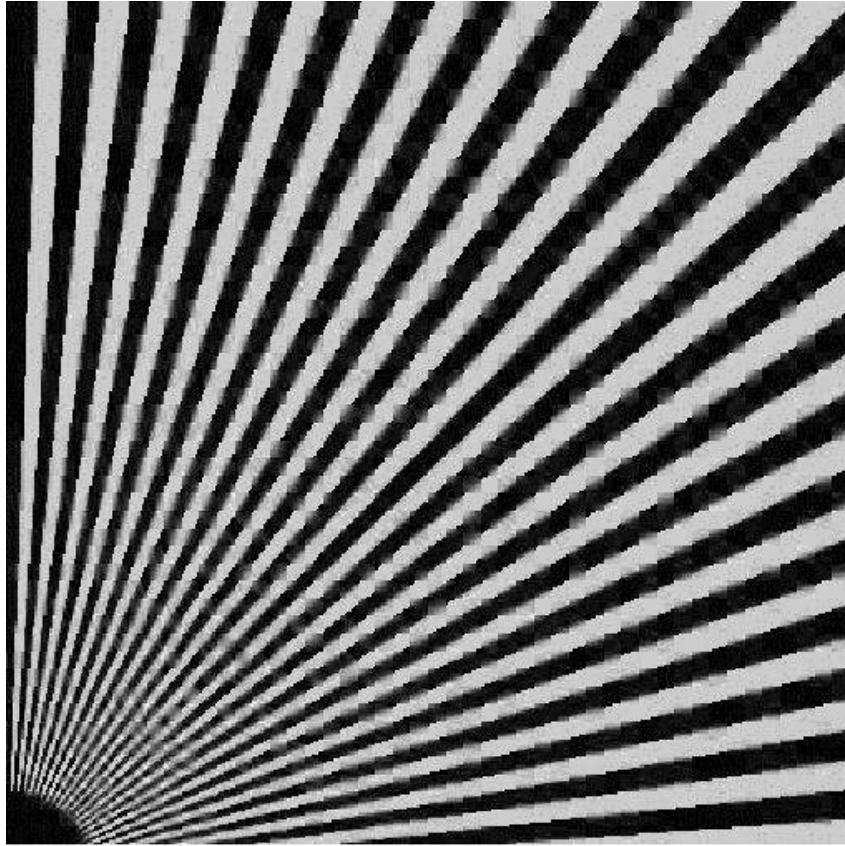


図 5-2-3-14 透かしを埋め込んだ画像  
(くさび模様、上:従来方法での処理、下:提案方法による処理)

5-3 【課題ウ】状況適応型コンテンツナビゲーション技術の研究開発  
 5-3-1 ユーザとのインタラクションによる検索ブラウジング精度の高度化・クラスタリング  
 5-3-1-1 序論

数多くの高品位デジタルコンテンツが蓄積されると、各ユーザが必要としているコンテンツを的確に検索する、あるいは効率よくブラウジングすることが困難になってくる。インターネット上のサービスの中には、情報提供のために用いられるHTML中のテキスト情報を用い、検索やブラウジング機能の高度化を目指しているものが幾つか存在する。しかし、画像等のコンテンツの場合、ユーザの検索要求を明確に表現することが困難であること、付加されるべきキーワードを与える手間が負担であること等の問題点がある。

そこで、本研究においては、画像コンテンツ自体から信号レベルで抽出される特徴量を利用した類似画像検索機能の研究開発を行っている。

本年度は、昨年度の試作システムをベースにシステムの改善を行うとともに、コンテンツのクラスタリング方法について検討を行った。

5-3-1-2 システム構成

画像検索を実装するシステムの構成としては、昨年度同様HTTPをベースとしたクライアント・サーバ型の構成をとる。システム全体の構成は、図5-3-1-1の通りである。

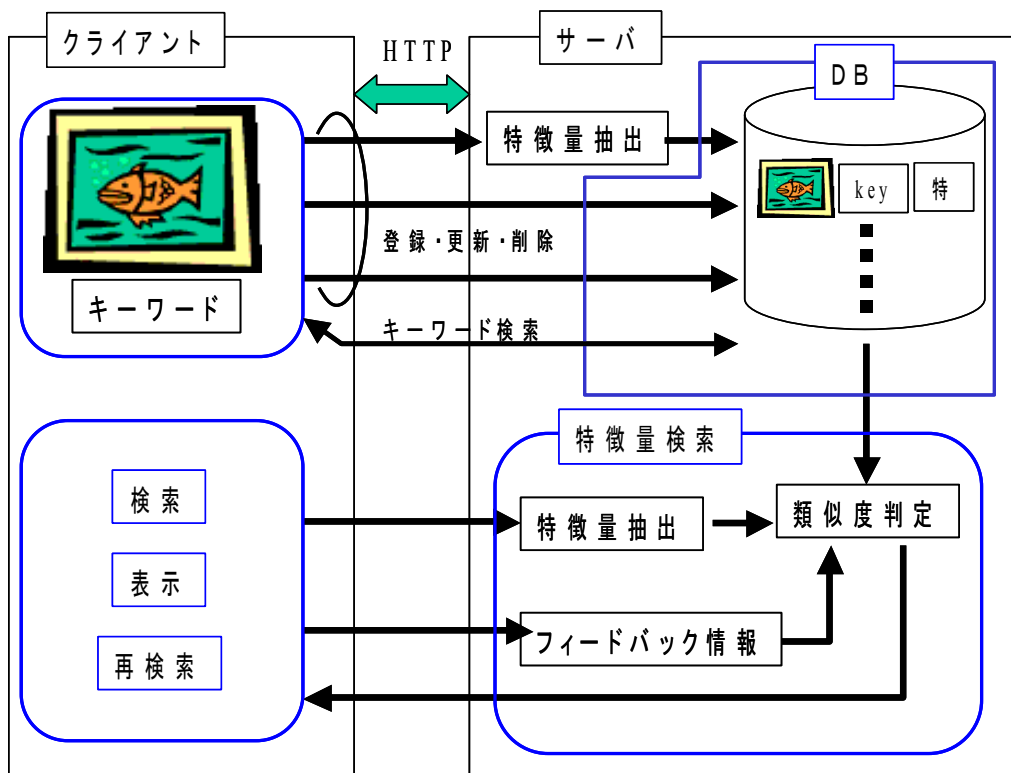


図 5-3-1-1 システムの全体構成

### 5-3-1-3 機能仕様

本システムは、図 5-3-1-1 のとおり画像データおよび画像データから抽出した特徴量などを蓄積・管理し、類似画像検索を提供するコンテンツサーバと、ユーザ操作による類似画像検索やデータのメンテナンスを行うクライアントにて構成される。両者は、ネットワークを介して接続されており、HTTP を用いて相互に通信を行うものである。

上記構成によって実現されているソフトウェアの、サーバ側プログラムおよびクライアント側プログラム（検索クライアントおよびデータメンテナンス）の主たる機能を、以下に説明する。

#### 5-3-1-3-1 コンテンツサーバプログラム

##### (1) 検索要求受信機能

クライアントから類似画像検索要求を受け取る。

また、受け取った処理要求に従って、他の機能に対し類似画像検索処理の指示を発行する機能。

##### (2) 画像コンテンツ蓄積・管理機能

クライアントからの画像登録要求に従って、画像ファイルとその画像に関する特徴量を本サーバ上に構築されているデータベースに保存する機能。

##### (3) 特徴量抽出機能

クライアントからの画像登録要求および検索要求に従って、登録すべき画像ファイルおよび検索のキーとなる画像ファイルより画像特徴量を抽出する機能。

抽出する画像特徴量は、昨年度と同じ以下に示す 3 種類、92 ベクトルである。

表 5-1-3-1 使用した画像特徴量

画像特徴量	内容	ベクトル数
ColorLayout	YCbCr 空間の DCT 係数	12
ColorHistogram	HSV 色空間によるヒストグラム	32
Texture	周波数のエネルギー成分	48

##### (4) 類似画像検索機能

クライアントからの類似画像検索要求に従って、サーバ上にある特徴量データベースに登録されている画像特徴量を用いた画像検索を行う機能。

##### (5) 検索履歴管理機能

過去に受け付けた類似画像検索要求の検索条件のうち閾値設定値を管理し、再度同条件の類似画像検索を可能とする機能。

### 5-3-1-3-2 検索クライアントプログラム

#### (1) 検索要求送信機能

コンテンツサーバに対して類似画像検索の要求を送信する機能。

さらに、検索要求を送信する際、類似画像検索キーとして指定された画像を、コンテンツサーバに登録することも可能である。

#### (2) 検索キー画像選択機能

類似画像検索においてキーとなる画像を選択する機能。ユーザ操作により、クライアントに蓄積されている画像ファイルを選択するためにファイル選択画面を表示し、1つの画像ファイルを選択する。

#### (3) 検索結果表示機能

コンテンツサーバより送信される類似画像検索結果を用いて、検索結果を三次元的に表示する機能。

#### (4) クラスタ選択機能

類似画像検索結果として三次元空間に表示されたクラスタ群から、ユーザが所望する1つ以上のクラスタを選択する機能。

#### (5) クラスタデータ表示機能

(4)により選択されたクラスタ内に配置されている画像をクラスタ内画像表示エリアに表示する機能。

#### (6) 閾値変更機能

クラスタを分割する閾値を、画像特徴量ごとに変更するための機能。ここでの変更に従って、画面上の類似画像検索結果の表示を変更したり再検索時のクラスタリング条件を変更したりすることができる。

#### (7) 類似画像検索母集団選択機能

検索結果として表示されるクラスタおよびクラスタ内画像表示エリアに表示される画像から、所望する1つ以上の画像を次回類似画像検索実行時の母集団として指定するための機能。

#### (8) 類似画像検索履歴表示機能

類似画像検索要求の発行日時（年月日時分）をタイトルとする類似画像検索履歴を表示する機能。

#### (9) フィードバック機能

ユーザによって選択された類似画像検索母集団に含まれる画像を対象とし、同じくユーザによって指定された閾値に従った類似画像の再検索要求を、コンテンツサーバプログラムに対して送信する機能。

### 5-3-1-3-3 データメンテナンスプログラム

#### (1) 画像登録機能

コンテンツサーバに対して検索母集団としての画像ファイルおよびその画像特徴量や説明文などを登録したり削除したりする機能。

#### (2) 登録画像一覧機能

コンテンツサーバにて管理している検索母集団としての画像ファイルを一覧表示する機能。

#### (3) キーワード検索機能

登録・更新時に画像毎につけられているメタデータを用いてキーワード検索を行う機能。

### 5-3-1-4 改善事項

本年度は、昨年度の試作システムにおける個々の機能について見直しを行うと共に、ユーザインタフェース周辺では大きな変更を行った。ここでは、特に大きな変更を加えた以下の項目について、その変更点・改善内容についてまとめる。

#### 5-3-1-4-1 検索結果提示方法

##### (1) 問題点

本研究開発における類似画像検索では、表 5-1-3-1 にある 3 つの画像画像特徴量を使用して検索を行っている。

昨年度の試作システムでは、検索後の結果提示において、上記 3 特徴量のうち任意の 2 つを直行軸としてキー画像を中心に二次元的な表示を行っていた。しかし、この方式では

- ・ 表示画像において、表示に使用していない特徴量との類似関係が不明
- ・ 表示面積には限りがあり、同時表示画像数は制限されるため、全体的な傾向等の状況が把握できない

等の問題があった。

##### (2) 解決策

3 つの画像特徴量と類似度の関係を表現するためには、それぞれの特徴量を直行座標系に対応させることで三次元的な表示を行うことは可能である。しかし、ユーザが確認可能な同時表示画像数には制限があるため、特に奥行き方向に配置されるデータの視認性は悪く、また、全体傾向を把握することはできない。

そこで今回のシステムでは、検索結果の画像を直接表示することをせず、まずは検索母集団に含まれる画像の類似度の分布を三次元空間上に提示し、この空間の一部に含まれる画像データを表示する方式を採用すること

とした。

(3) 手順

ユーザ操作により、検索キーとなる画像が指定されてから、実際に検索結果を表示するまでの手順について GUI 画面例（図 5-3-1-2）とともに説明する。

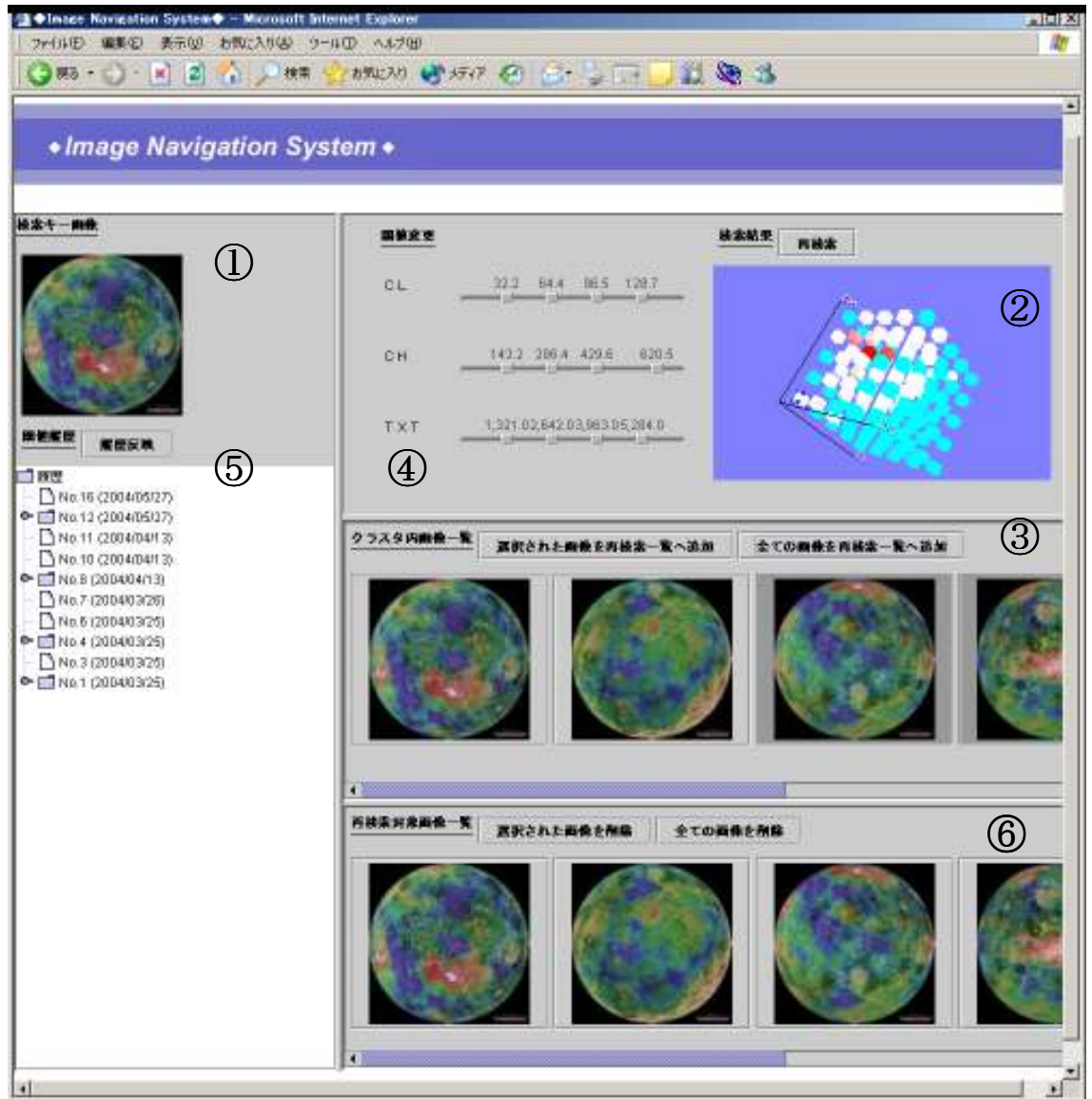


図 5-3-1-2 GUI 画面例

- 1) 指定した検索キー画像は①の検索キー画像エリアに表示される。
- 2) 検索キーとなる画像に対する類似度を画像特徴量毎に算出する。算出方法については基本的には昨年と同様である。  
こうして算出した類似度を最大値が 1 となるよう正規化する。  
(サーバ側動作)
- 2) 各特徴量に対する類似度を座標系と見立てた三次元空間を規定する。

さらに、各座標を5分割して空間を125の領域に分割し、検索結果を配置する。ここで、分割された各領域をクラスタと称し、検索の結果は各クラスタに分類（クラスタリング）される。

- 3) 上記三次元空間とクラスタは②クラスタ表示エリアに表示される。各クラスタについては、そこに含まれる画像の量がわかるよう色分けを行う。  
ここで、空間の座標は各特徴量における類似度であるため、クラスタが原点に近いほど類似度が高い画像が含まれていることとなる。エリア内の座標系はマウス操作により、拡大・縮小・移動・回転を行うことが可能となっている。
- 4) 検索結果としての画像の表示は、②クラスタ表示エリア内のクラスタを選択することにより行われる。選択されたクラスタに含まれる画像は③クラスタ内画像一覧エリアに表示される。  
クラスタは一つだけでなく複数選択することが可能である。

### 5-3-1-4-2 フィードバック機能と再検索

#### (1)問題点

フィードバック機能、およびそれに伴う再検索に関しては、昨年度開発のシステムにおいては、再検索を行う場合、ユーザからのフィードバック情報が蓄積され、これを加味して再度検索を行うが、新たな検索を行う場合には、過去の情報は反映されないという実装であった。

また、フィードバックが一次元的な情報であったため、3つの特徴量に対してどのように作用しているのかがわからないという問題があった。

#### (2)解決策

クラスタを作成するための、各画像特徴量の分割点（閾値）をユーザ操作により変更可能とする。これにより、ある画像特徴量に対しては類似度の選択範囲を狭めて条件を厳しくし、他のものについては条件を甘くする等のユーザの意図に応じた検索が行えるようになる。

また、このようにユーザにより設定した閾値調整の結果を履歴として記録する機構を設けることにより、ユーザ自身が過去にどのような検索を行ったを知ることができ、また同条件での検索を行うことができる。

さらに、選択したクラスタ内の画像を選択し、これを母集団として再検索を行う機能を設ける。

#### (3)手順

- 閾値の変更
  - ④閾値変更エリアのスライダーを使用する。  
閾値の変更処理はクライアント側のみで行われるため、変更は直ちに②に反映される。また、クラスタのサイズが変更されるため、クラスタが選択状態にあった場合にはクリアされる。
- 検索履歴の利用



⑤閾値履歴エリアを使用する。

履歴として表示されているリンクを選択し「履歴反映」ボタンをクリックすることにより、蓄積された履歴が反映される。

- 検索母集団をしばりこんでの再検索

- 1) 再検索の対象となる画像を選択する。

- ③クラスタ内画像一覧表示エリアから、対象としたい画像を選択し、追加ボタンをクリックする。

- 選択された画像は⑥再検索対象画像一覧エリアに表示される。

- 2) ②クラスタ表示エリアの上部にある再検索ボタンをクリックし、再検索を実行する。

### 5-3-1-4-3 検索クライアントの内部構成

検索クライアントプログラムのユーザインタフェースは Java3D を利用して構成した。検索クライアントの内部構成を図 5-3-1-3 に示す。

### 5-3-1-5 評価とまとめ

ColorLayout、ColorHistogram および Texture の 3 特徴量を利用した画像検索システムにおいて、それぞれの特徴量を正規化した空間を分割し、分割空間（クラスタ）上に検索結果をクラスタリングして表示するシステムを試作した。本システムは、検索母集団内のすべての画像について、キー画像との類似度の分布を把握することができ、座標上で原点に近いクラスタを選択することにより、類似画像を検索することが可能である。

また、昨年度の試作システムでは、表示の更新の度にサーバ側での類似度判定作業を行っていたが、本システムでは、検索実行時にクライアント側に母集団すべての画像の類似度パラメタが伝えられるため、閾値の変更等、表示条件の更新時には、表示画像データの転送以外の処理はすべてクライアント側で行われるため、画面の更新時間が短縮され操作性が向上した。

一方で、クラスタを使用した類似度分布の表示を行うことにより、(1)ユーザが検索結果としての画像を確認するまでの手順が増えている。(2)クラスタ表示により、検索結果の画像を表示する部分が減ってしまう。等の問題もあり、これらについては、より見やすい・使いやすいインタフェースを構築することが課題である。

本システムは、(1)閾値履歴からユーザの着目する特徴量を調査する。(2)同一クラスタに含まれる画像より想起されるキーワードについてアンケート調査を行うことにより特徴量とキーワードの関連付けを行う。等検索精度向上のための情報ツールとしても利用可能である。

そこで、本システムにより収集した情報を解析して、類似度の算出法に反映し、検索精度の向上を行うことも今後の課題である。

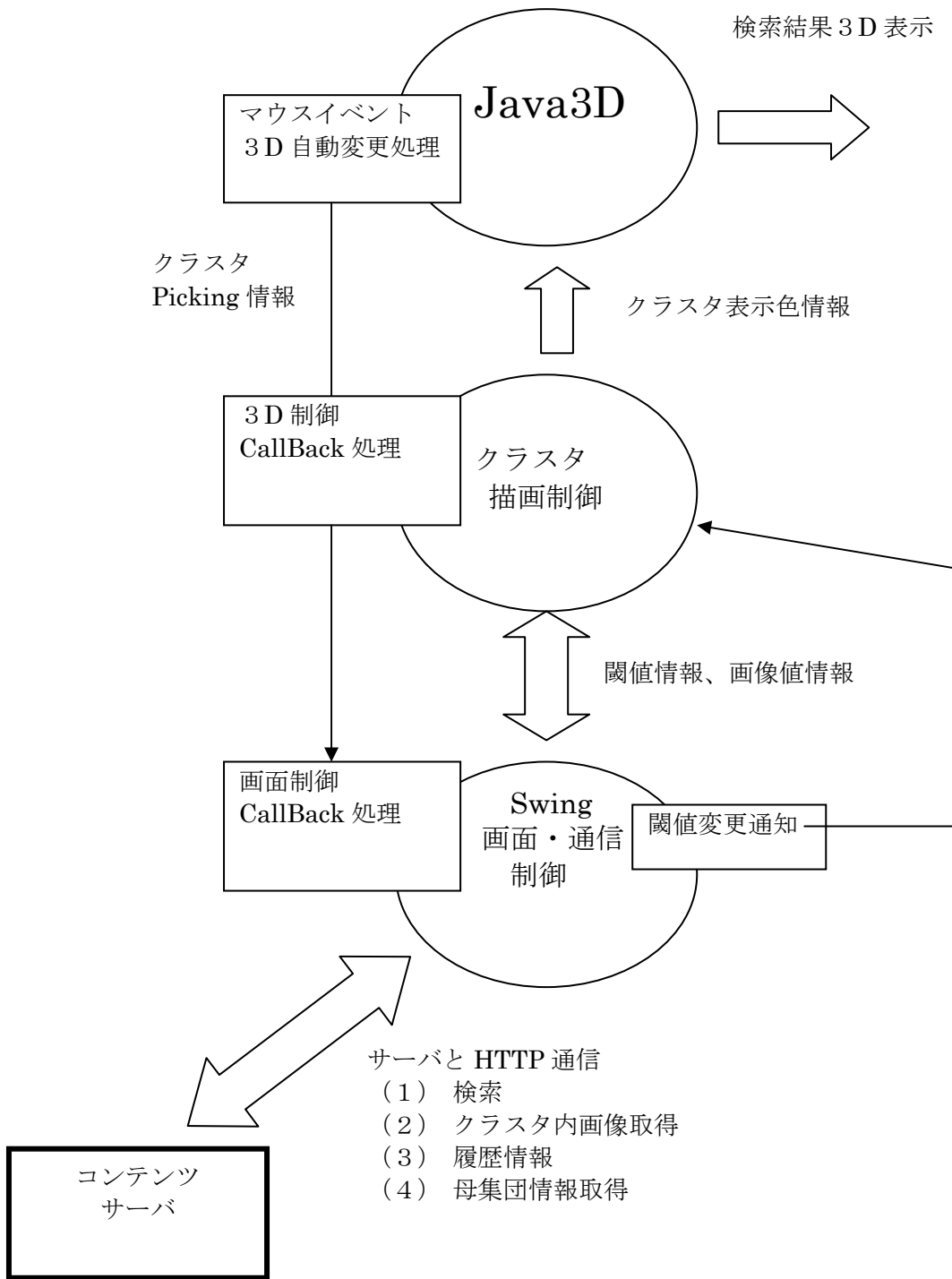


図 5-3-1-3 検索クライアント内部構成

## 5-3-2 コンテンツ主導型ナビゲーション

### 5-3-2-1 序論

画像コンテンツを利用するにあたっては、画像データだけでなく、コンテンツの属性等を記したメタデータも大きな役割を果たしている。一般に画像データベースなどを用いてコンテンツの管理を行っている場合には、データベースの機能により、画像データとメタデータは一元に管理されておりそれぞれが正しく対応付けられる。しかし、コンテンツ流通等の過程においてメタデータを消失し、画像データのみが手元に残った場合などには、画像データの属性を知ることができなくなる。

そこで、電子透かしの技術を利用して、画像データそのものに、メタデータ、もしくはメタデータにアクセスするためのインデックスを埋め込み、これを検出することによりその画像に対するメタデータにアクセスする技術について研究開発を行う。

### 5-3-2-2 メタ情報埋め込み電子透かし

ここでは、JPEG で符号化されたストリームデータの一部を可逆な方法で変更して、多量の情報を埋め込む電子透かしの方式を高精細画像に適用し、その有効性を示す。

本方式では、量子化された DCT 係数を操作することにより情報を埋め込む。本方式により、たとえば、本透かしを 2048×2048 の高精細画像に適用し、DCT の 8 ブロック (512 画素) に 1 ビットの割合で透かしの埋め込みをすれば、400 字詰原稿一枚分 (6400 ビット) 程度のテキストの埋め込みが可能であることを確認した。

また、可逆な方法を用いているので、鍵を知っていれば、電子透かしの完全に取り除いてもとの画像を復元することができる。

### 5-3-2-3 電子透かし埋め込み・検出ソフトウェア

上記電子透かしを用いて、画像にテキスト情報を埋め込み、それを復元するソフトウェアを試作した。このソフトウェアはテキスト情報に URL を含めることによって、復元された URL をクリックすれば、そのリンク先の情報を閲覧することができる。

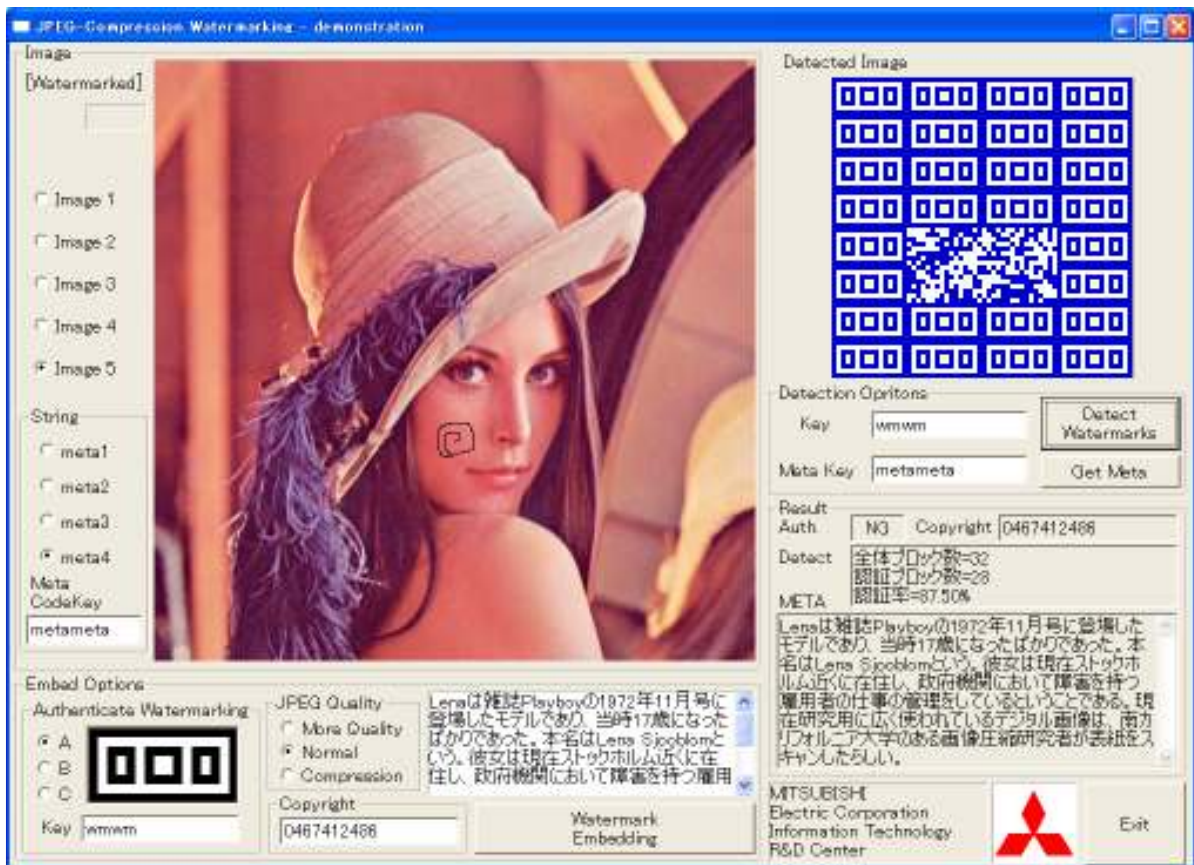


図 5-3-2-1 開発したソフトウェアの表示画面

図 5-3-2-1 は、このソフトウェアの表示画面である。ここで、表示された画像には、電子透かしによってテキスト情報が埋め込まれている。画面右下の META の枠内には画像から抽出されたテキスト情報が表示されている。

このプログラムは、メタ情報埋め込み用透かし以外に、課題イにて研究開発を行っている「著作権保護用透かし」「真正性証明用透かし」についても、透かしの埋め込み、検出行うことが可能である。図 5-3-2-1 の左から 2/3 の領域が情報埋め込み用の領域であり、右から 1/3 の領域が検出用の領域である。以下に、このプログラムの動作を説明する。

#### 【埋め込み操作手順】

1. 埋め込むべき画像を選択する (Image 1～Image 5)。
2. 埋め込むべきメタ情報を選択する (meta 1～meta 4)。このとき、メタ情報は中央下のテキスト領域に表示される。また、同時に埋め込みキーを設定する。(図 5-3-2-1 では、埋め込みキーは“metameta”としている)
3. 真正性証明用の埋め込みパターンを選択する (A～C)。このとき、同時に埋め込みキーを設定する (図 5-3-2-1 では、埋め込みキーは“wmwm”としている)。
4. “Copyright” 領域に著作権情報を入力する (図 5-3-2-1 では、著作権情報を“0467412486”としている)。
5. “WatermarkEmbedding” ボタンを押し、情報を埋め込む。これにより情報埋め込み後の画像が表示される。

#### 【検出操作手順】

1. 真正性証明用およびメタ透かし埋め込み用のキーを設定する (図 5-3-2-1 では、それぞれ“wmwm” および“metameta”としている)。
2. “Detectwatermarks” ボタンを押しることにより、“DetectImages” 領域に真正性証明用の埋め込みパターンが表示される。また、著作権情報の他、検出率情報も“Result” 領域に表示される。
3. “Get Meta” ボタンを押しることにより、埋め込まれたメタ情報を抽出し、“META” 領域に表示する。ただし、真正性が破壊されている画像からは正しく抽出できない。(図 5-3-2-1 では下記のようにメタ情報抽出後に画像を改ざんしている)

このソフトウェアでは、画像に落書きすることにより、画像を改ざんすることが可能である。図 5-3-2-1 は、メタ情報を抽出したあと画像中央に渦巻状の落書きを施し、その後“Detectwatermarks” ボタンを押し、真正性証明用透かしを抽出した状態を示している。落書きをした部分の真正性証明用パターンが崩れていることがわかる。

#### 5-3-2-4 まとめ

多量の情報を埋め込むことの可能なメタ情報埋め込み用透かしの基本方式を開発した。また、課題イにて研究開発を行っている他の電子透かしも含めた、埋め込み・検出用のソフトウェアを試作し、開発した全ての電子透かしが正しく機能することを確認した。また、メタ情報埋め込み用透かしを使って URL を埋め込み、リンク先に存在する画像コンテンツの付加情報にアクセス可能であることを確認した。これによって、コンテンツ主導型のナビゲーションを実現することができる。

## 5-4 総括

### 【課題ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術

#### (I) 位置補正、画像合成処理自動化

#### (II) ひずみ補正

撮影画像にプロジェクタで照射したキャリブレーションパターンからの特徴点抽出を自動化したことにより、使用する特徴点数を4倍に増やしたにも拘らず、処理時間を平成14年度のシステムに比較して1/4以下に短縮することができた。

また、撮影時間はカメラの設置、データ転送時間に拘束されるため、大きな変化はないものの、カメラ制御 SDK を用いて撮影システムを構築したことにより、撮影時のユーザ操作数の削減、容易な撮影データの管理が可能となった。

さらに、グレーのキャリブレーションパターンを用いる照明むら補正プログラムを試作し、上記撮影システムと組み合わせて撮影実験を実施した。しかし、実写カメラの撮影アングルによって照明の反射率が変動することにより、十分な補正には至らないことを確認した。

#### (III) 色補正処理

##### ・撮影時に生成されるデータの発色特性

ラインセンサを使用した超高精細デジタルカメラの撮影画像の特性を調査し、陰影の階調についてはフィルム撮影に比して良好であるが、コントラストはやや軟調であること。これらの特性は作品の傾向を問わず共通であることを確認した。

##### ・メタデータすべき項目の抽出

博物館、美術館の学芸員のヒアリングをベースに開発された画像データベースで使用されるメタデータ項目を調査し、コンテンツの保存には適した内容となっているものの、コンテンツ流通の観点からは十分な項目となっていないことを確認した。

##### ・出力時における各出力デバイス固有の発色特性

##### ・紙、その他出力メディアによる発色特性

3種のプリンターと紙、布等の複数の出力メディアを用いて、実際に印刷を行い、それぞれの発色特性について検証した、これにより、それぞれの特性から来る表現の差異や傾向を確認した。

#### (IV) 質感表現三次元データ生成処理

質感データ入力とその処理モデルの検討： 実環境で利用されている素材を対象とした反射特性の測定が可能となった。ここで対象とした素材は、布地や、キャンバス地、しっくい壁等を用い、その分光反射率の正確な測定と、そこからの材質感、質感の推定を BRDF モデルにより説明可能であることを成果として得た。

また、得られた BRDF モデルから、その表現、表示を裸眼立体視ディスプレイ技術を活用することで一定の表現が可能となりうることを示した。

## 【課題イ】 ワンソースマルチユース対応コンテンツ蓄積管理技術

### (I) コンテンツの階層的な蓄積方法

ビジュアルロスレスの最適値を検証し、色深度多重方法の色深度をロスレスとビジュアルロスレスの2段階にとどめることにより、デコードスピード・エンコードスピードの2倍以上の高速化を実現した。

またエンドユーザーが利用できる GUI ベースの Viewer の開発が完了した。

さらにピクセル当倍以上での表示に輪郭抽出拡大の他、フラクタル理論による拡大も実装が完了した。

### (II) 分散環境著作権管理方式

分散環境で存在する DB のテーブルセットの定義および実験の他に2点間での著作権情報の連携モジュールの実装が完了した。

### (III) 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

- ① 著作権用電子透かし方式を開発した。画像信号を空間的に拡散したあとの画像に対して透かし信号を埋め込む。I T E 標準画像を使用して本方式に対する J P E G 耐性評価を実施。画像データを7%程度まで圧縮した後でも検出誤りが発生しないことを確認した。
- ② 色空間において、Y U V と R G B の間の変換を可逆とするための変換式とその条件を定義し、その条件下にデータが収まるように変更することで、カラー画像に対しても真正性証明用電子透かしを適用可能とした。
- ③ 署名情報の埋め込み時に符号化と独立な量子化テーブルを利用可能とすることにより J P E G 符号化時の量子化ステップ幅制限を撤廃した。これにより高画質な J P E G 符号化画像に対しても真正性透かし署名の埋め込み・検出が可能となった。また、復号画像に電子透かしが残存するための復号方式も開発した。
- ④ 2,048x2,048 画素の画像に対して400字詰原稿一枚分(6400ビット)程度のテキストの埋め込みが可能でメタ情報埋め込み用電子透かしの基本方式を開発した。
- ⑤ 電子透かしを埋め込んで JPEG 符号化された画像データが、ビットマップデータに復号される場合に、凸射影法の原理を用いて電子透かしを失うことなく復号する方法を開発した。
- ⑥ 真正性証明用電子透かし埋め込み後の画質改善方法を開発した。量子化された DCT 係数のハッシュ値の埋め込み位置を工夫することで妨害が軽減されることを示した。また、シグザグスキャンの最後の係数が大きな電力を持つ場合についても、電力の減衰を防止する方法を開発した。

**【課題ウ】 状況適応型コンテンツナビゲーション技術**

(Ⅰ) ユーザとのインタラクションによる検索ブラウジング精度の高度化

(Ⅱ) クラスタリング

色、レイアウト、形状の3画像特徴量を規格化した3次元空間を $5 \times 5 \times 5$ のサブ空間に分割し、このサブ空間上に検索結果の画像をクラスタリングし、表示するシステムを試作した。

本システムでは、原点に近いクラスタを選択することにより類似画像の検索を行うだけでなく、同一クラスタに含まれる画像を一覧表示できるため、検索結果の主観評価やキーワードと特徴量の関連付けを行う際にも利用可能である。

(Ⅲ) コンテンツ主導型ナビゲーション

電子透かしをキーとした付加情報へのアクセス方法の検討を行い、コンテンツに埋め込まれている情報を表示するツールを試作した。本ツールでは、メタ情報埋め込み電子透かしとして埋め込まれたURLを検出し、URLの情報を表示可能である。



## 参考資料、参考文献

「情報通信白書平成 14 年版、平成 15 年版」、総務省  
「デジタルアーカイブ白書 2003」、デジタルアーカイブ推進協議会

鈴木、小林：「市販デジタルカメラによる資料撮影と色値推定の試み — デジタルアーカイビングに耐える色彩画像を考える —」，情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集（2001）

W. Bender et.al, “Techniques for data hiding”, IBM systems journal, vol. 35, no. 3-4, pp. 313-336, 1996.

I. J. Cox et.al., “Secure spread spectrum watermarking for multimedia”, NEC Research Institute, TR95-10, 1995.

伊藤他、「JPEG 画像の真正性を証明する電子透かしの方法」、信学総合大会、2003 年 3 月.

伊藤、馬養、鈴木、「JPEG 画像の真正性を証明する電子透かしの方法」、D-11-33、信学総合、2003 年 3 月.

渡辺、長谷川、加藤、「直交変換利用型電子透かしにおける無攻撃時の透かし情報消失防止についての検討」、画像電子学会誌、2003 年 1 月.

A. Westfeld, “High capacity despite better steganalysis (F5-A steganographic algorithm),” Information Hiding International Workshop, LNCS-2137, pp. 289-302, 2001.

F. Hartung and B. Girod, “Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain,” ICIP-97.

西、安藤、「超解像に見る多次元信号処理と逆問題」、計測と制御、vol. 31、no. 9、pp. 962-967、1992 年 9 月.

G.K.Wallace, “The JPEG still picture compression standard”, IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. 18-34, Feb. 1992.

研究発表、講演、文献等一覧

“Research into the characteristics of coloration due to the paper used for printing”

CRISATEL：パネル発表（平成 15 年 4 月）

「日本におけるデジタルアーカイブの現状」

故宮博物院：講演（平成 15 年 8 月）

「デジタルアーカイブが次世代産業のシーズになる」

デジタルコンテンツ協会：講演（平成 15 年 9 月）

「日本におけるデジタルアーカイブの現状」

故宮文物 247 号：会報誌（平成 15 年 10 月）

「デジタルアーカイブの現状」

意匠学会：講演（平成 15 年 11 月）

「感性の時代と技術」

日本電気計測器工業会：講演（平成 15 年 4 月）

「簀の目の測定法の開発および応用例」

文化財保存修復学会：発表（平成 15 年 6 月）

“A Study of Discoloration Model to Reproduce Color Dyeing”

Cultures of the Silk Road and Modern Science：講演（平成 15 年 9 月）

“A novel method of analyzing laid-lines of paper”

Cultures of the Silk Road and Modern Science：講演（平成 15 年 9 月）

“VR Reconstruction for Cave Temples”

Cultures of the Silk Road and Modern Science：講演（平成 15 年 9 月）

「プロジェクタを用いた書籍表示インタフェースの構築」

画像電子学会：論文誌（査読有）（平成 15 年 7 月）

「簡易ズームカメラモデルを用いた中心射影行列による部分形状復元」

電気学会：論文誌（査読有）（平成 16 年 4 月掲載予定）

「電子透かしを保存する凸射影法を用いた JPEG 復号方法」

情報処理学会：発表（平成 16 年 3 月）

（13 件、うち査読有 2 件）