

平成17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

委託先： 三菱電機(株)

平成18年4月

情報通信研究機構

平成17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.....	2
2	研究開発の全体計画.....	6
2-1	研究開発課題の概要.....	6
2-1-1	全体概要.....	6
2-1-2	個別課題毎の実施内容.....	7
2-2	研究開発目標.....	13
2-2-1	最終目標（平成18年3月末）.....	13
2-2-2	中間目標（平成16年3月末）.....	14
2-3	研究開発の年度別計画.....	16
3	研究開発体制.....	17
3-1	研究開発実施体制.....	17
4	研究開発実施状況.....	18
4-1	【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発.....	18
4-1-1	位置補正・画像構成処理・ひずみ補正処理.....	18
4-1-2	色補正処理（カラーマネージメント）.....	32
4-1-3	質感表現三次元データ生成処理の研究開発.....	37
4-1-4	コンテンツ収集.....	43
4-2	【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.....	46
4-2-1	コンテンツの階層的な蓄積方法.....	46
4-2-2	分散環境著作権管理方式.....	48
4-2-3	各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし.....	55
4-3	【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.....	71
4-3-1	コンテンツ適応型ブラウザ.....	71
4-3-2	コンテンツ主導型ナビゲーション.....	79
4-4	【課題 エ】 実証実験.....	82
4-4-1	海外との接続実験.....	82
4-4-2	国内における実証実験.....	85
4-5	総括.....	93
4-5-1	【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発.....	93
4-5-2	【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.....	93
4-5-3	【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.....	94
4-5-4	【課題 エ】 実証実験.....	94
5	参考資料・参考文献.....	95
5-1	研究発表・講演等一覧.....	95
5-1-1	研究論文（査読有）.....	95
5-1-2	外国発表論文（査読有）.....	95
5-1-3	外部機関誌論文.....	95
5-1-4	一般口頭発表.....	95

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、ADSL、FTTH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、数百万画素のデジタルカメラ、HDTV対応ビデオカメラ、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重点計画2004においても先導的7分野の内、「知」としてデジタルアーカイブ化の推進が取り上げられている。

本研究開発に関わる分野での現状は以下に述べるような状況である。

(1) デジタルアーカイブの現状

① 政府・各官庁の取り組み（e-Japan重点計画2004より抜粋）

- ・ デジタルアーカイブ化の推進（内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省及び関係府省）：2005年度までに、放送・出版、映画等のコンテンツや、美術館・博物館、図書館等の所蔵品、Web情報、地域文化、アジア諸国との関係に関わる重要な公文書等について、デジタル化・アーカイブ化を推進し、インターネットを通じて国内外に情報提供が行われるよう必要な措置を講ずる。
- ・ 文化遺産オンライン構想の推進（文部科学省、総務省）：デジタルアーカイブ情報の検索を容易にするため、2005年度までに、国や地方公共団体、私立の美術館、博物館のネットワークの充実を図り、共通索引システムを整備する。また、2006年度までに、全国で1000館程度の美術館、博物館等が参加する文化情報に関するポータルサイトの確立を目指す。

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・ゲッティ・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、8×10 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 8,000×10,000pixel で画像をデジタル化している。

問題点は、図 1-1 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。

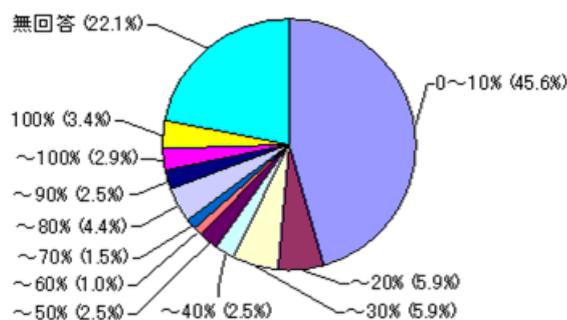


図1-1 収蔵品のデジタル化率(母数=204施設)
 (「デジタルアーカイブ白書 2003」(デジタルアーカイブ推進協議会刊))

②カラーマッチング

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、カラーマネー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ージメントシステムの確立がなされていないのが現状である。

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、PFU社のGigaview、DATT JAPAN社のFlashpix、LizardTech社の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は確立しておらず、各社から様々な方式が提案されている段階である。

- ・ 日本IBMの「DataHiding」、digimarc社の「Imagemarc」、Blue Spike社の「Giovanni」、エム研の「LUSENT MARK」、MediaSec社の「SysCop」などの方式のほか、NECソフトウェアの直接埋め込み方式による「電子透かしシステム」の開発などがなされている。
- ・ 使用例としては、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があるほか、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、自動監視によりホームページへ転載などの発見に利用されている。

電子透かしが埋め込まれた画像は、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竄、JPEGなどの符号化劣化を伴う圧縮符号化に対しても、電子透かし情報が消去されない「耐性」を持つ必要がある。特に、価値の高い高精細画像データに対する電子透かし技術の確立は、インターネット流通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、いかに両立させるかが課題である。

⑤分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、Getty Images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。

キー画像検索の例としては以下がある。

- ・ 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。
- ・ 米国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。

キーワードによる検索方式も実現されているが、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く、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になっている。このため、候補画像から目的とする画像をデータベース中から検索したり、インタラクティブにスケッチ検索を行うなど、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。

2 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

2-1-1 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（カラーマネージメント）
- (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2-1に示す。

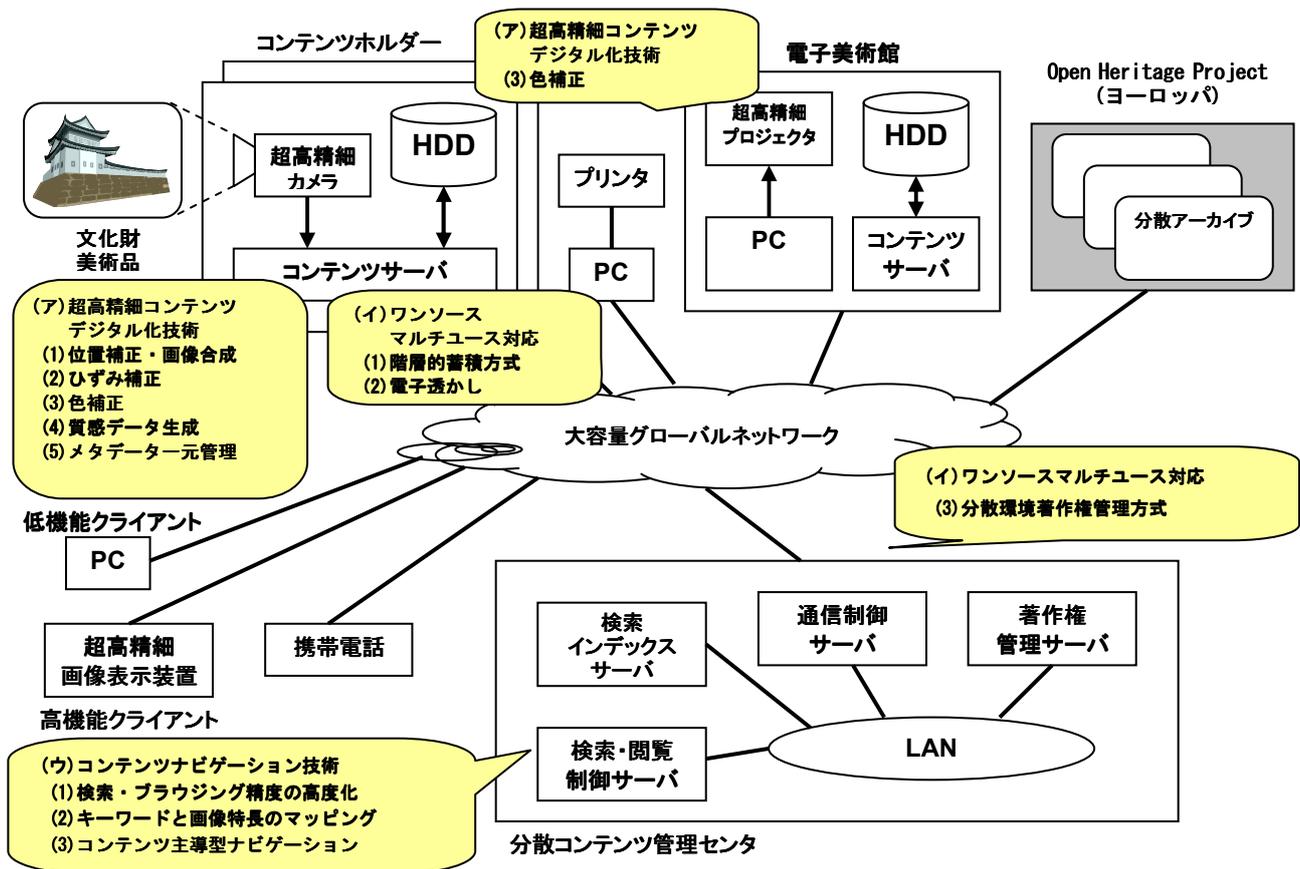


図2-1 大容量グローバルネットワーク利用超高精細コンテンツ
分散流通技術の研究開発 概略図

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。

2-1-2 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、高品位に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利用可能な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となる。

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が、これらの機器によるデジタル化においては、例えば以下の問題点がある。

- ・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が、処理に時間がかかる。
- ・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（カラーマネージメント）

研究にあたっては、複数枚撮影した画像の合成や、グリッドパターンパタン、色パターンを撮影し、それらのパターンからの補正值をコンテンツの撮影画像に対して随時フイードバックをかけて補正する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。

- ・用途に応じて、コンテンツの品質（解像度、色深度等）を変えられること
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が、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。
- ・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。
- ・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。
- ・分散アーカイブ環境に対応した著作権保護環境を提供できること
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

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、一つはコンテン

ツのファイル内部構造としての解像度別の階層的蓄積（画質／解像度による階層：図2-2）、もう一つはコンテンツの情報を管理するDBの階層的蓄積（ネットワーク上のデータベース（DB）の階層化：図2-3）である。

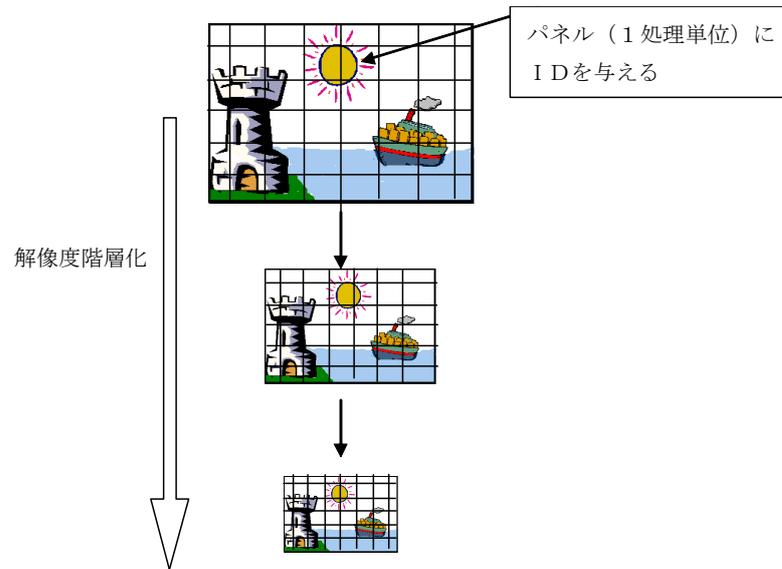


図2-2 超高精細コンテンツの解像度階層化

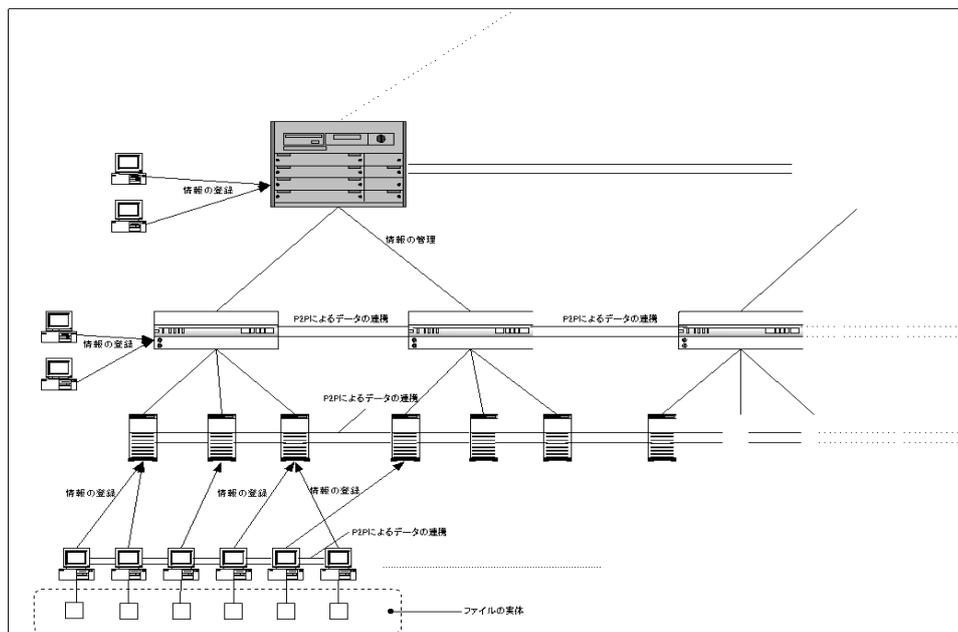


図2-3 データベース構造の階層化

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つのカテゴリーのデータを割り当てるなど、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。

- ・画質と埋め込む情報量との関連を明確にすること
- ・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

図2-3のようなデータベース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効率的に検索・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処理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、テクスチャ等)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、絵画の内容についての記述がなされることは少ない。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。

- ・画像データに対してキーワード等の付加情報を与え、これによりキーワードによる画像検索が可能になる。
- ・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ーカイブの検索を行う。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2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2-4に示す。

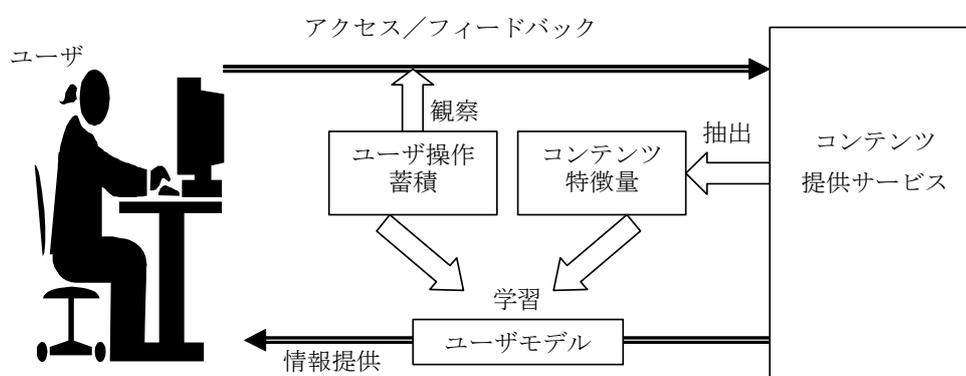


図2-4 状況適応型コンテンツ検索・ブラウジング

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国際標準化作業が行われている 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2-5に示す。

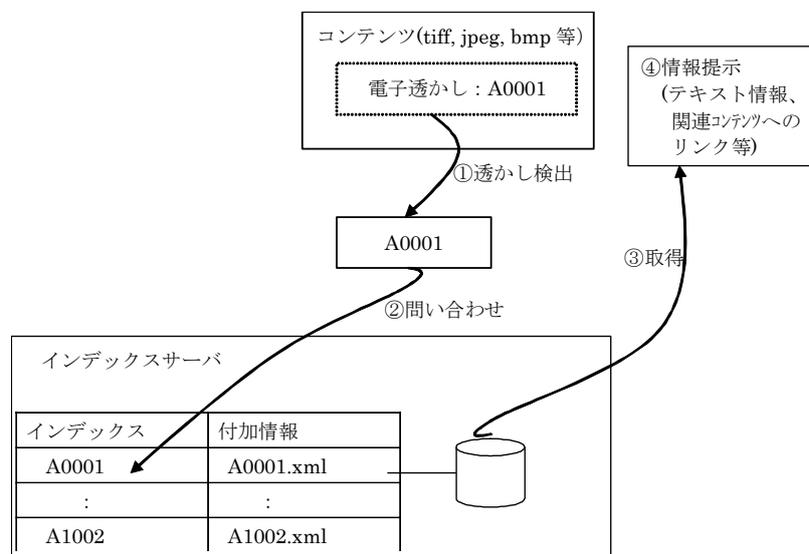


図2-5 コンテンツ主導型ナビゲーション

これにより、入手したコンテンツの所在場所や画像フォーマットに依存しない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。

2-2 研究開発目標

2-2-1 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ー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ー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ー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画素）
- ・ 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。

【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、1,000点の検索表示を実現すること。
- ・ 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。

2-2-2 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。
- ・ カラーマネージメントにおいて、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。

2-3 研究開発の年度別計画

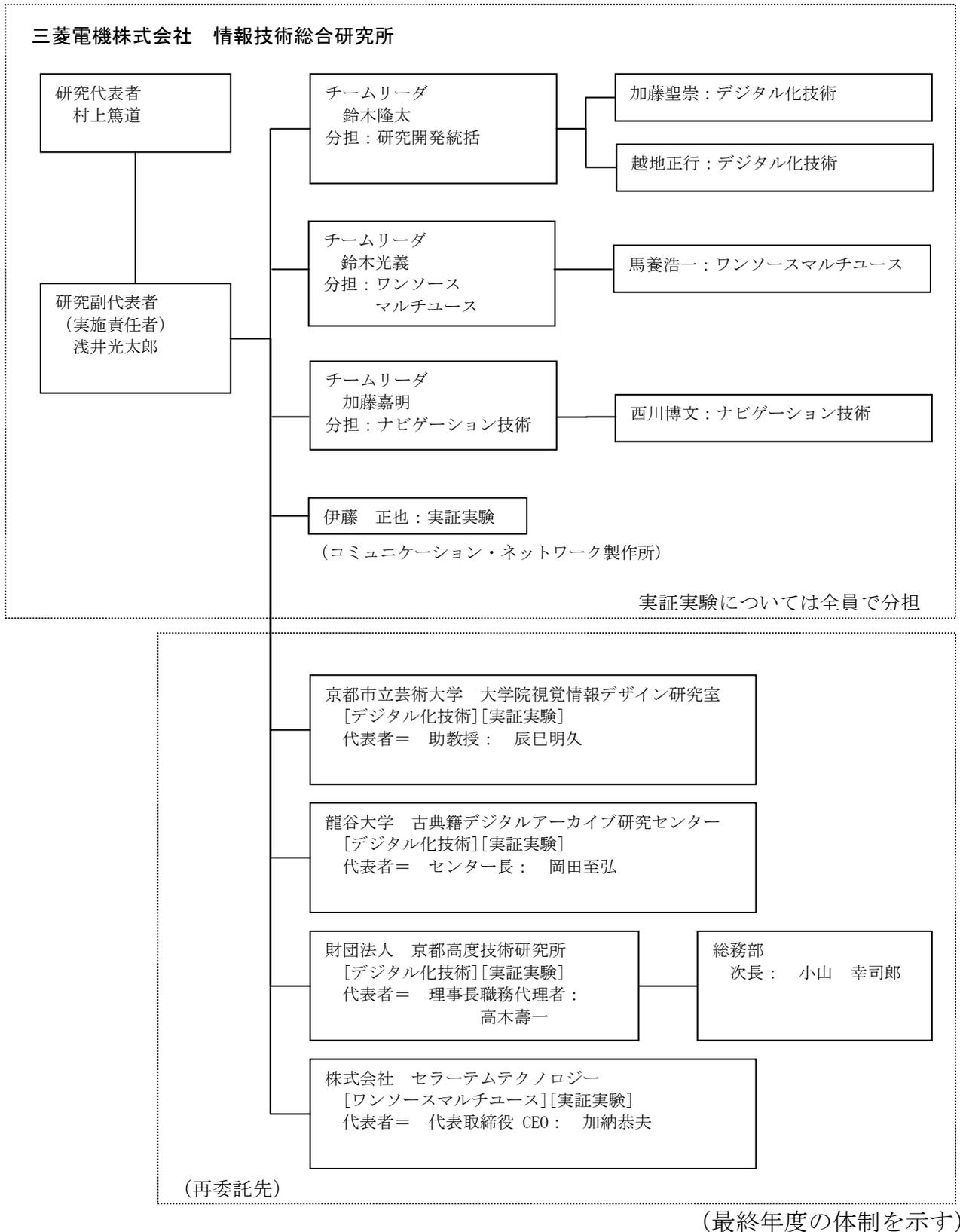
(金額は非公表)

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 (財)京都高度技術研究所
【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 (株)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				すべての機関(他の課題と連携をとりつつ行う)
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)。
 2 備考欄に再委託先機関名を記載
 3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。

3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制



4 研究開発実施状況

4-1 【課題 ア】超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発

4-1-1 位置補正・画像構成処理・ひずみ補正処理

デジタルカメラで撮影した複数の絵画画像を用いて超高精細コンテンツを合成するために必要な、画像の位置補正及びひずみ補正処理のアルゴリズムを開発し、そのアルゴリズムを使用して分割撮影した画像に画像合成処理を施すことで高精細コンテンツを生成する技術開発を実施した。

1) 位置補正・画像合成処理

1-1) 基本方式

歪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絵画の分割画像から、画像合成処理により1枚の超高精細画像を生成する。分割撮影された画像を連続的につなぎ合わせるために、キャリブレーションパターンとして既知のマークが描かれたアクリル板、アクリル板と同種のマークからなるキャリブレーションパターン（以下簡単のためマーク群と記す）が絵画上へ投影された画像を用いて、画像変換係数を求める。本手法では、この画像変換（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標とした。

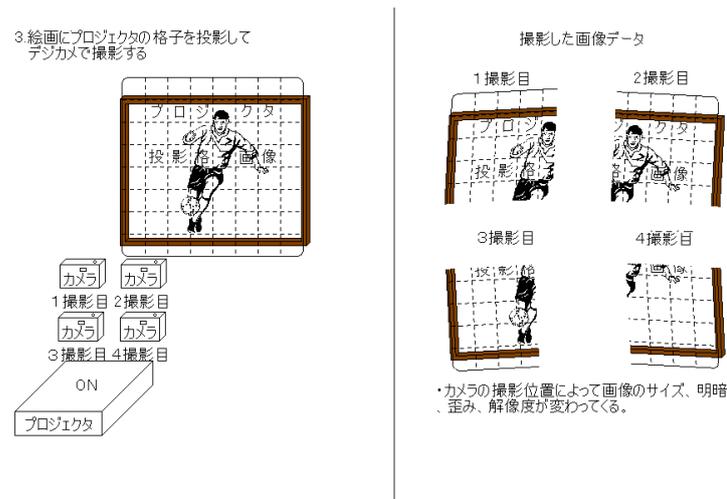


図4-1-1-1 分割撮影による超高精細画像の合成

以下、座標系、合成手順、画像変換係数の自動算出方法について説明する。

1-2) 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写像について、次のように定義する。

(a) アクリル座標系／絵画座標系：A

キャリブレーションの処理として、まず既知のマーク群が描かれたアクリル板を絵画と同じ位置に設置し、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の絵画と同じ平面上に置かれるため、絵画座標系とは近似的に等しいものと仮定する。レンズの収差の補正に用いられる。

(b) プロジェクタ座標系：P

プロジェクタにより絵画の上に投影されたマーカ群画像は、アクリル板の撮影時と同じカメラ位置で撮影される。このプロジェクタ内の座標系のことである。理論的には(a)と一致、もしくは並行となっている。P-C 間、C-A 間の写像を合成することでレンズの収差をキャンセルすることができる。

- (c) キャリブレーションカメラ座標系 : C
アクリル板およびマーカが投影された絵画を、同じ位置からキャリブレーション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。
- (d) 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絵画の部分分割された高解像度画像およびマーカ群が投影された絵画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射影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射影変換を以下の記号で表す。

- a) $F : C \rightarrow A$
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写像である。レンズの収差をキャンセルするために用いる。
- b) $G : P \rightarrow C$
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写像である。
- c) $H_i : R_i \rightarrow P$ ($i=1\sim n$)
実写カメラ座標系からプロジェクタ座標系への写像である。
- d) $E_i : R_i \rightarrow A$ ($i=1\sim n$)
実写カメラ座標系から絵画座標系 (アクリル座標系) への写像である。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絵画座標系 (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、絵画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。

以上の座標系および各座標系間の写像の関係を図 4-1-1-2 に示す。

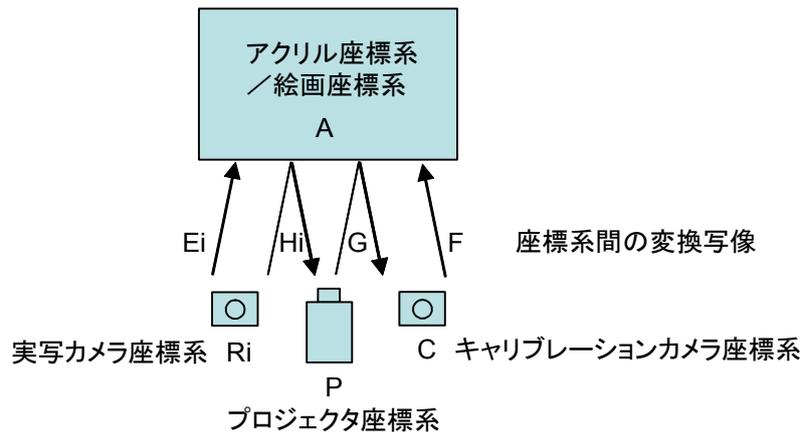


図4-1-1-2 キャリブレーションにおける座標系と変換写像

1-3) 超高精細画像の合成手順

1-2) 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、以下の手順で行う。

(a) アクリル板の撮影

マーカが描かれたアクリル板を絵画と同じ場所に置き、キャリブレーションカメラで撮影する。

(b) 画像変換係数 F の算出

アクリル板上に描かれたマーカ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マーカ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射影変換係数 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、最小自乗法により画像変換係数の推定を行った。

(c) 絵画上に投影されたマーカ群の撮影

次に、マーカとしてアクリル板と同種のマーカのデータを用意し、プロジェクタにより絵画の上に投影する。このマーカが投影された絵画を、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。

(d) 画像変換係数 G の算出

プロジェクタ座標系上での各マーカ点の位置は既知である。一方、マーカ群を投影した絵画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。マーカ群の位置と、プロジェクタで投影された絵画上に投影されたマーカ群の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、最小自乗法により変換係数の推定を行った。

(e) 絵画の分割部分画像の撮影

超高精細画像を合成するため、対象の絵画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。

(f) 絵画のマーカ群投影分割部分画像の撮影

プロジェクタによって対象の絵画の上に再びマーカ群を投影し、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絵画の撮影位置と同じにする必要がある。

(g) 変換係数 H_i の算出

絵画に投影されたマーカの各点の位置座標は既知である。またマーカが投影された絵画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、プロジェクタで投影されたマーカの位置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、最小自乗法による画像変換係数の推定を行う。

(h) 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、

$$E_i = F \cdot G \cdot H_i \quad (i=1 \sim n)$$

の算出式に従い、実写カメラ座標系から絵画座標系（アクリル座標系）への変換係数 $E_i = (eiq1, eq2, eq3, eq4, eq5, eq6, eq7, eq8)$ 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。

(i) 超高精細画像の合成

絵画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絵画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歪が補正され、絵画座標系上での絵画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絵画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 4-1-1-3 に合成された絵画の超高精細画像の例を示す。



図4-1-1-3 絵画の超高精細画像の合成例

1-4) 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、マーカを投影した絵画の撮影画像、マーカを投影した絵画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4-1-1-4はこれらの処理の流れを示したものであり、各処理は以下の手順で行われる。

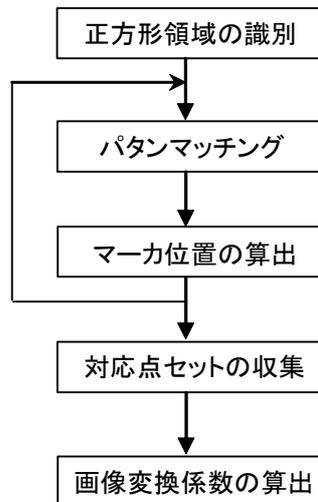


図4-1-1-4 画像変換係数の自動算出処理の流れ

(a) 正方形領域の識別

本手法ではマーカとして、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4-1-1-5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4-1-1-5 マーカ形状の例

(b) 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、元になる背景の絵画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ー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ー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。

(c) 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の各位置座標があらかじめ計算しておくため、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。

(d) 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ーン格子の間で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、最小自乗法の処理を行うことで、画像変換係数

$$E_i (e_{iq1}, e_{iq2}, e_{iq3}, e_{iq4}, e_{iq5}, e_{iq6}, e_{iq7}, e_{iq8})$$

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/>

1-5) 画像認識のための補足

キャリブレーションパターンをプロジェクタで投影する際、注意すべきことは閾値設定ができるかどうかであった。そこで単純化し、かつ閾値を自動的に設定可能とするために次の工夫を行った。

- ・ キャリブレーションパターンは緑と黒の2値を投影し、撮影する。
- ・ 次に全体が緑の画像を投影し、補助画像を撮影する。

最後の全緑色投影画像は、次の理由により撮影する。緑色マーカが投影された画像は黒と緑によりマーカを識別している。ところがDLPプロジェクタは黒の輝度レベルが0ではないため、目視での確認と比べて黒と緑の差がない。そのため、閾値設定が微妙となり、手作業が必要となることがある（黒は256段階の50まで達している

ことがある)。そこで同じ輝度の緑画像を全面にあて、この画像から緑色マーカ画像の差分を求める。そうすることにより、緑色マーカ部分は絵の明暗によらず同じ輝度であるため、零値となり、緑成分と黒成分の差分は零値よりも十分に大きくなる。つまり小さめの閾値設定が有効に機能することが言える。

2) 撮影支援システム

2-1) 撮影支援システムの概要

本システムは、ポスト処理を念頭に、撮影データの確実な獲得のために構築した。全体像を図4-1-1-6に示す。

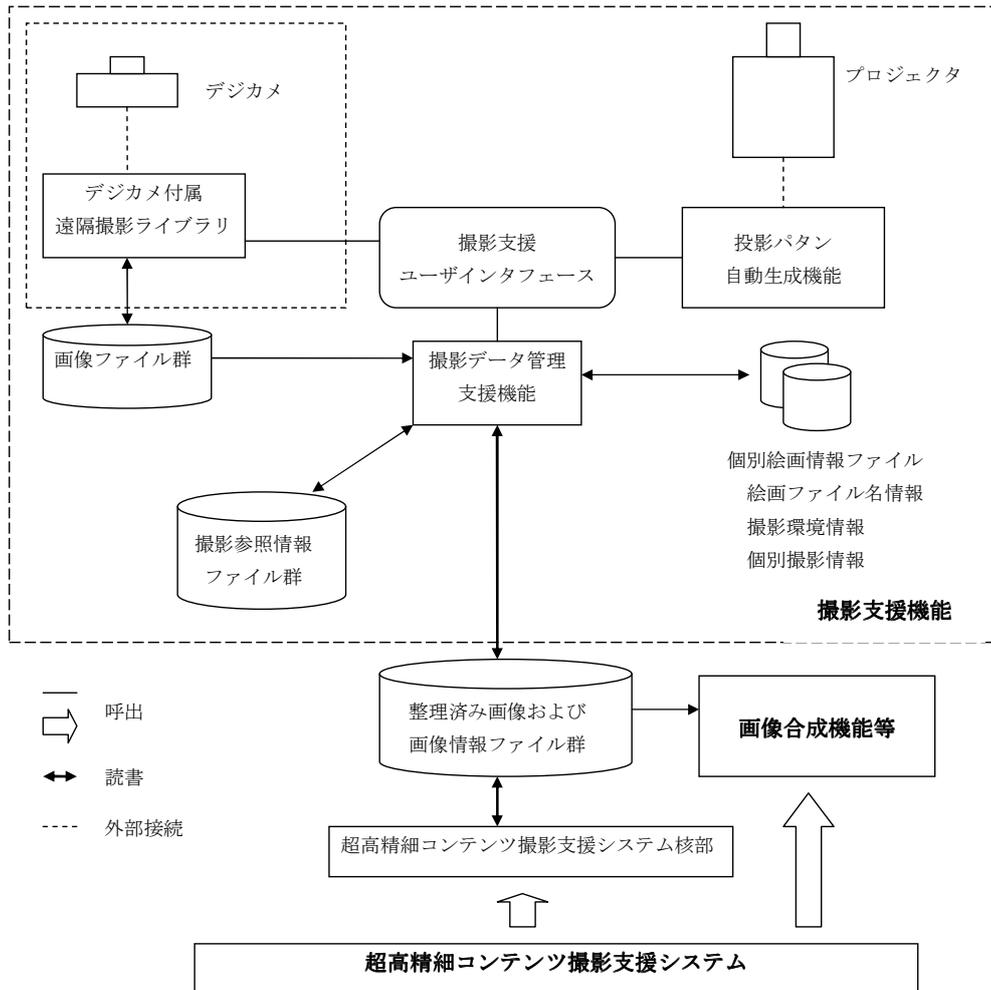


図4-1-1-6 超高精細コンテンツ撮影支援システム

本基本方式を実装する場合、同じカメラ位置から実写画像、マーカ画像などを撮影するためのカメラとプロジェクタとの連動した撮影が必要となる。また分割撮影のために画像の撮影漏れを防ぐ機能が必要である。さらに絵画に投影するマーカ群は、絵画のサイズに合わせた画像を生成する必要があり、分割撮影に適した数のマーカが必要なため、絵に合わせたマーカ群が必要となる。これらの課題を本システムの構築により解決した。以下に主な機能を示す。

(a) キャリブレーションパターン自動生成機能

キャリブレーションパターンを生成する機能である。主な機能は次のとおりである。

- ・絵のサイズに合わせたキャリブレーションパターンの生成
- ・全緑画像の生成機能

(b) 撮影支援ユーザインタフェース

投影するマーカ群や撮影参照情報の生成を撮影と連動させ易くし、撮影時間の軽減、ファイル整理などの余分な作業の削減により、大量のコンテンツ作成を支援するための各種機能呼び出すためのユーザインタフェースである。

- ・撮影と連動したキャリブレーションパターンの生成と表示
- ・撮影ファイルに対応する撮影参照情報の生成
- ・撮影データの整理（ソート）
- ・撮影前に用意した個別絵画情報ファイルの読み込み指示と表示
- ・デジタルカメラの自動露出設定と撮影指示

(c) 画像合成管理システム核部

撮影支援機能と画像合成機能を有機的に結びつけ、大量の画像合成処理を可能とするためにシステム化する。本機能は全体システムの統括処理を行う。

- ・画像および画像情報ファイル群情報の入手・管理および表示
- ・画像合成機能の呼び出し
- ・合成画像情報の管理

2-2) 実際の撮影による改良

実物の貴重な文化財などの撮影による実証実験等を行うことで、以下の知見を得ることができた。

- ・撮影場所の状況が毎回異なる。
本システムは文化財を簡易に分割撮影できることが特徴であるが、そのため、特に撮影場所の状況が異なることを克服する必要がある。
- ・撮影時間に関わる要件が異なる。
撮影時間は短いにこしたことはない。ポスト処理との兼ね合いともなるが、時間短縮について検討が必要である。

以下にこれらの課題と解決方法について述べる。

撮影場所の要件と解決方法

毎回撮影場所が異なるため、設置方法が異なる。その結果、撮影までの設置時間をかなり費やしている。具体的には、撮影設備である分割撮影カメラ、全体撮影カメラ、プロジェクタ、照明が干渉するため、設置位置を調整する必要がある。

また、撮影された画像に関する向きが当初撮影を想定していたものと異なることが多く、ポスト処理の際に、必ず撮影画像およびキャリブレーションに関わるデータの調整が必要となる。その原因として、プロジェクタの設置位置が、カメラと干渉しない位置、つまり全体および分割撮影カメラの撮影時にその画角に入らない位置に設置する必要がある（プロジェクタの照明によるカメラの陰が、そのカメラの撮影範囲に入らなければ良い）がある。

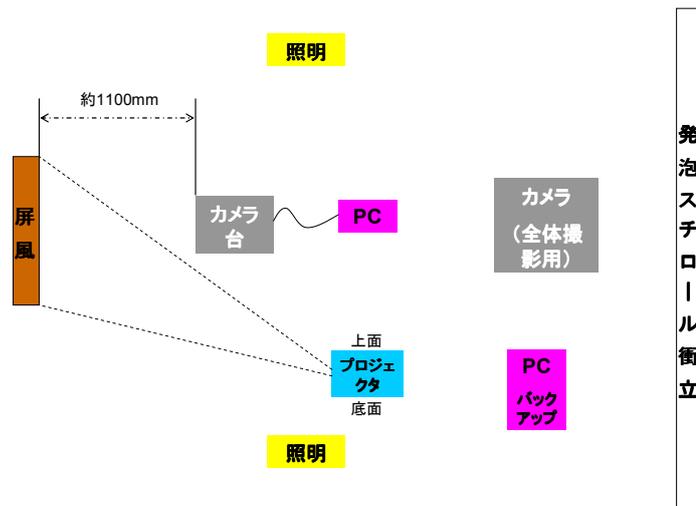


図4-1-1-7 機材の配置例

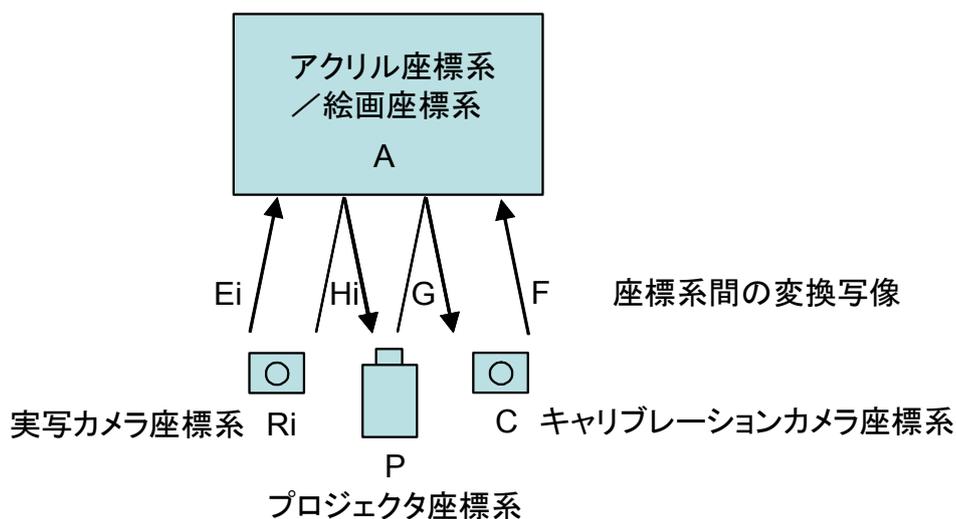


図4-1-1-8 画像合成に必要なカメラおよびプロジェクタとその座標系

図4-1-1-7に機材の配置例を示す。これらの機材によって図4-1-1-8に示すプロジェクタおよび各カメラの座標系を実現し、合成画像を得るための座標系変換に用いる。最近のプロジェクタの多くは、机に置いて投影することを前提としているため、レンズの上半分、つまり上方向にシフトして投影されている。直接カメラにプロジェクタ光が当たっても影が上方向に逃げるため、調整すればよい角度が見つかる。例えば、絵が横長で、ある程度の高さに配置されておれば、カメラの下に空間を設け、下から上に煽って投影すればよい。また煽りレンズを活用して撮影する場合は、カメラが若干下にくるため、逆にプロジェクタは上から逆さまに投影すればよい。今回の撮影のように屏風絵の場合、床置きとなるケースが多いため、カメラも下まで来ることになる。そのため、プロジェクタを横向きに左側から投影することになった。また絵自身を床置きで撮影する場合、上階にプロジェクタを設置することもあった。

また、プロジェクタパターンは解像度に合わせて作成してあるため、斜め投影になっても直線成分は斜めの直線になるだけであるので、斜め投影はピントがひどくアンバランスにならない限り問題はない。

ここで問題になるのが、カメラで撮影した画像の向きと、理想プロジェクタ、理想アクリル板の向きが異なることがあることである。そこで次の基準を作り、撮影手順に改良を加えた。

- ・アクリル板上のマーカの座標値データを正方向、逆方向（さかさま）の両方を用意する。
- ・アクリル板の座標系が基準だが、その方向をできるだけ分割撮影画像に合わせるようにする。
- ・アクリル板が90度回転している場合は、パターンデータも90度回転する。データを回転する。そのためにツールを用意した。
- ・プロジェクタパターンは、アクリル板基準で回転分のパターンデータを生成・管理する必要がある。
- ・撮影画像も同様に回転させる必要がある。

まとめると撮影のコンフィギュレーション化が必要であり、ポスト処理はそれに合わせるようにして、実施する手順となった。

撮影時間の要件と解決方法

北野天満宮で実施した分割撮影の実証実験を例として要件を示す。実証実験のために撮影した屏風は重要文化財であったため、宝物庫から出庫し、撮影し、入庫するという手順を運送会社が実施するため、撮影時間に限りがある。今回の撮影の分割方法は次の通りである。

屏風の種類：	6 曲 2 双
1 双のサイズ：	縦 149.4×横 337.5(cm)
撮影単位：	2 曲
撮影単位あたりの分割数：	横 3 分割、縦 6 分割
1 分割あたりの撮影枚数：	露出 3 種類、パターン画像、パターン補助画像

このため 1 撮影単位あたりの撮影枚数が

$$5 \times 3 \times 6 = 90 \text{ 枚}$$

となり、2 双分で

$$90 \times 3 \times 2 = 540 \text{ 枚}$$

の撮影が必要となる。カメラの移動時間も含めて 5 時間程度で収めるためには、1 枚に約 30 秒しか時間をかけられないことになる。それに対して、既存システムでは、撮影データを IEEE1394 インタフェースを介して PC へ転送し保存しており、明るめの環境で撮影する（露出時間は明度に反比例する）場合、経験値でシャッターを押して、画像転送し終わるまでに 20 秒ほどかかる。つまりカメラの移動時間を考慮すると、相当な時間を費やすことになる。

これに対して、画像データをカメラ内に保存するモードを新設することとした。これにより、カメラの通信を抑制しデータをカメラ内のマイクロドライブに保存するため、通信にかかる時間を抑制できるようになった。実際データ転送時間はほとんどなくなったため、大幅に撮影時間を短縮することができ、カメラの移動も含めて撮影時間は 3 時間あれば可能であった。

なお、本モードの採用によるデメリットは次のとおりである。

- ・カメラ内でのデータの名前等の保存手段は、カメラ側で取り決めをされているものである。そのため画像が撮影順に入ってくるため、PCと通信することで実現していたデータ名による整理手段が利用できなくなった。

結果的にポスト処理ではマイクロドライブデータを撮影記録に合わせて、編集・整理する必要があり、ポスト処理の前に人間に頼った処理が必要となった。細かいところではあるが、撮影時コストをポスト処理に移したと考えることができる。

今回はデータ量の関係で実現していないが、間に撮影に関する情報を再撮影などの際に画像として挟み込む仕掛けを入れるなどをし、メタデータを見ることで、自動振り分けが可能にでき、自動合成と併せることで、撮影→合成画像生成が可能となる。

その他の要件と解決方法

その他の改良点は次のとおりである。非常に細かいところであるが、撮影時間の節約には非常に有用であったため挙げた。

- ・小型ノートPCでのプロジェクタマーカ画像生成への対応
プロジェクタマーカ画像は、ビデオ系として余裕があるシステムを想定して、仮想ビットマップ画面側に出力画像を表示し、撮影操作画面とは別としていた。しかしながら、仮想ビットマップ画面がとれないオンボード系のビデオチップを搭載した廉価なノートPCへ対応する必要があることから、投影時にマーカ画像のみが表示されるように対応した。このため、人間の操作ミスなどでマーカ画像以外の画像が表示され、再撮影されることがなくなった。
- ・同地点画像ファイルの非削除化
画像管理において、撮影画像はユニークにするように配慮し、間違っただけの画像を採用しないようにしていたが、これは操作ミスによって(具体的には撮影画像位置の指定ミス)、画像の再撮影を要求するケースがあった。今回上書き操作をしないことはポスト処理に負荷をかけることになったが、撮影時間がキーであると考えると無駄な撮影を排したところに意義があった。

またカメラ台の改良も実施した。カメラ台は既製品のものを利用していたが、実際にはカメラやレンズの重みに耐えられないケースがあり、またこれほど頻繁に動かすことを想定していないものと思われる。そこで撮影者の意見などを参考に垂直方向に動かすカメラ台を作成した。この台のために縦方向の移動に関わる時間を非常に節約することができた。

3) 分割撮影によるコンテンツ取得

本研究を通じて分割撮影した主な絵画、文化財は次の通りである。

- ・ 三井寺（襖絵）
- ・ 油彩（風景画）
- ・ 流山浄信寺所蔵の掛軸
- ・ 島根県および松江市所蔵の絵図
- ・ モダンアート（切り絵）
- ・ 馬の博物館所蔵の屏風絵
- ・ 日本大学芸術学部の学生作品（油彩）
- ・ 北野天満宮所蔵の屏風絵

図 4-1-1-9 は北野天満宮所蔵の雲龍図屏風の撮影風景であり、6曲2双の屏風絵を2曲ずつ撮影した（左屏風の中央の2曲の全体画像を撮影中である）。また、合成した画像例（左隻）を図 4-1-1-10 に示す。



図4-1-1-9 撮影風景



図4-1-1-10 画像合成例

4) 精度の向上の検討

自動キャリブレーションにおいて、特徴点の誤差や歪みなどに起因して絵の変換がうまくいかない場合がある。その解決方法についても検討した。

4-1) 射影変換行列の改良の検討

本方式は、射影変換に基づいて実現されていて、画像変換としてはオーソドックスな方式を採用している。射影変換行列を現在とは異なって、誤差に強い方法で求める方法を検討した。

射影変換行列は対応する特徴点に関する変換に基づき、最小自乗近似を行って、その係数を求めている。しかしながら[1]において、特徴点の誤差の振る舞いの研究から、その影響により射影変換行列が大幅に乱れることを指摘している。つまり誤差にセンシティブな方法として指摘している。画像合成でも特徴点の偏りから、変換画像の頂点の一部が崩れた絵になるケースもみられている。

その解決方法として、くりこみ法 ([2]) を適用することを検討した。くりこみ法は、第1次近似において最適であることが証明されているものである。

射影変換は

$$\mathbf{x} = (\mathbf{Ax} + \mathbf{By} + \mathbf{Cz}) / (\mathbf{Px} + \mathbf{Qy} + \mathbf{R}), \mathbf{y} = (\mathbf{Dx} + \mathbf{Ey} + \mathbf{F}) / (\mathbf{Px} + \mathbf{Qy} + \mathbf{R})$$

としてベクトル \mathbf{x} から \mathbf{x}' への変換により定義されるものであり、係数については行列 \mathbf{H} と \mathbf{x} 、 \mathbf{x}' を

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ \mathbf{D} & \mathbf{E} & \mathbf{F} \\ \mathbf{P} & \mathbf{Q} & \mathbf{R} \end{pmatrix}, \mathbf{x} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}/f \\ \mathbf{y}/f \\ 1 \end{pmatrix}, \mathbf{x}' = \begin{pmatrix} \mathbf{x}'/f \\ \mathbf{y}'/f \\ 1 \end{pmatrix}$$

と定義すると射影変換は、 $\mathbf{x}' = \mathbf{Z}[\mathbf{H}\mathbf{x}]$ と表現できる。 $\mathbf{Z}[\cdot]$ は、 z 成分を1とするスケールの正規化のことである。

基本的には最尤推定と同等な精度をもつ手法であり、形式的には行列 \mathbf{H} を含む重み行列 $\mathbf{W}_a(\mathbf{H})$ をもつ最小自乗法：

$$\sum_{\alpha=1}^N (\mathbf{x}'_{\alpha} \times \mathbf{H}\mathbf{x}_{\alpha} \cdot \mathbf{W}_{\alpha}(\mathbf{H})(\mathbf{x}'_{\alpha} \times \mathbf{H}\mathbf{x}_{\alpha})) \rightarrow \min$$

とみなすことができる。 $\mathbf{W}_{\alpha}(\mathbf{H})$ の計算については各計測点の不確定さに依存することになるが、詳細は[2]にある。最小自乗法では射影変換に持ち込むために同次座標系に変換する。その際第3成分は常に1であるにも関わらず、この1をデータと同様な誤差の範囲で扱ってしまうことが理由であるとされている。

本方法を適用することで、少なくとも場合によって発生する最小自乗近似の大きな誤差を抑えることができる。だが、計算量的にはかなりテンソル積計算など大きなものがあるので、実際には異常値を示したときのみ適用すべきである。なお、特徴点については最低5点以上を必要としている。

4-2) その他の方式

射影変換における誤差への弱さの問題は、ある意味で本質的なところでもある。そこで、それを改善することが必要な場合に備えて、その他の方式として段階的マッチング ([3]) を検討した。具体的には次の方法である。

特徴点について第1画像 I_1 の特徴点 P_i と第2画像 I_2 の特徴点 Q_j の相互の類似度を次の誤差で測る。

$$J(\alpha, B) = \sum_{(i,j) \in N} |T_{P_\alpha}(i, j) - I_2(i', j')|^2$$

T_{P_α} は第1画像 I_1 の点 P_α を中心とする正方格子 N を切り取り、その中心を $(0, 0)$ としたテンプレートである。第2画像 I_2 の点 Q_β の画像座標を (x_β, y_β) とすると、 (i', j') は次のようになる。

$$(i' \quad j') = (x_\beta \quad y_\beta) + (i \quad j)$$

実際には $J(\alpha, \beta)$ 成分は、変形成分の影響を被るため、0にはならないことがある。そのため、段階的にテンプレートを仮定して推定していくことで対応が可能である。つまり、まず並進性のテンプレートマッチングで大まかな並進性を推定し、次に拡大縮小や回転を含めた相似テンプレートマッチングで推定する。さらにアファイン変換のテンプレートを適用し、最後に射影テンプレートマッチングで最終的な対応を定めることとする。各段階でテンプレートを得る。

この方法は空間スティッチングで使われる手法であるが、一般に特徴点の対応関係を見つけるのが大変であることが課題である。本合成方法ではそもそも特徴点が求まっているため、本変換を適用し易いとも言えるが、本方法の事例は重なり部分が大きい場合を想定しているため、特徴点が少ない場合、その差を埋める必要がある。

そもそも本方法を適用するのは、歪みなどにより射影変換ではうまく合わないケースの補助手段であり、射影変換後に具体的に合った点、合わなかった点を画像より採取して与える必要がある。具体的には次のとおりである。

- ・ 合成画像全体を求める。そのなかで適合しない（歪みが想定される）部分画像を除いた形で合成画像を求め、重なり部分を抽出する。
- ・ その画像と適合しない画像の特徴点を重なり部分から求める。
- ・ テンプレートマッチングを試みる。

5) まとめ

デジタルアーカイブの価値は、絵が見えること、字が読めることにあることを、実際の撮影を通して確認していたが、今回も確認することができた。撮影時に必要であった、カメラ台の改良や、撮影システムの改良などを通して撮影現場で撮影時間を大幅に減少させることができた。またどうしても分割撮影した画像が繋がらない場合に備えて、空間スティッチング手法の適用の検討も実施した。今後への課題をまとめると次の通りである。

- ・ 照明の電源制御および軽いカメラなどの活用によりカメラの移動制御なども可能であり、撮影の自動化を可能な限り実施する。
- ・ 画像状況を実用的に見せるためにも、合成した超高精細の絵画画像をスムーズに縮小して眺めるための機能が必要である。
- ・ 美術館・博物館の所蔵する多くの価値がある絵画の撮影のためには、できればガラス越しの撮影方法の構築が必要である。実証すべき項目である。

参考文献

- [1] 金澤他：射影変換行列の最適計算によるモザイク合成，情報処理学会研究報告 99-CVIM-116-2, pp. 9-16 (1999).
- [2] 清水他：信頼性評価を備えた最適な射影変換の計算プログラム，情報処理学会研究報告 98-CVIM-111-5, pp. 33-40 (1998).
- [3] 金澤他：段階的マッチングによる画像モザイク生成，情報処理学会研究報告，2002-CVIM-132-5, pp. 31-38 (2002).

4-1-2 色補正処理（カラーマネージメント）

カラーマネー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。

- 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ージメント特性
- 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

この8項目に沿って研究を進め、最終目標である

- 撮影時から蓄積時までのカラーマネー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ー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ージメントシステムを確立すること

に結びつく研究を実施した。

以下、チェック項目ごとに詳細を記す。

1) 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、フィルム撮影に比べて極めて良好であることが付帯して撮影しているグレートーンチャートから確認することができる。その一方、コントラストはやや軟調であり、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設計の問題と思われるが、レンズの精度を上げるという解決策よりも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。

平成16年度には、ポジフィルムをCREO社のフラットヘッドフィルムスキャナで入力し、実験を行った。この実験により、ポジフィルムの保存状況によって、十分な発色が得られるかどうか左右されることが確認された。また、撮影時のデータが、ポジフィルムに付帯しているケースはあまり無く、メタデータとしてブランクになるケースがほとんどである。

2) 保存～配信時におけるカラーの劣化要因の有無

保存から配信に至るプロセスでの劣化要因は、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留意事項である。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、あるいは加工状況をメタデータとして保存することが必要である。

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と思われる。

3) 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、コンテンツへのアクセシビリティ (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) 等の国際標準化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項目の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国際標準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、もちろん対象となる。

アルタイズ MA (日本写真印刷が提供する美術館・博物館用資料管理データベース) メタデータの基本的項目は、メタデータの標準化を視野に入れて開発されている。データのウェブ上への簡便な書き出し機能もバージョンアップにより解決された。

アルタイズ MA のメタデータ項目の検証作業を進める一方、フランス国立美術館修復センター (C2RMF) の協力でヨーロッパリサーチオープンシステム (EROS) のメタデータに関する研究を行った。

EROS は、C2RMF が研究対象とした西洋絵画のデータベースシステムである。そのメタデータ項目は、RGB 画像、X 線画像のほか、マルチスペクトルカメラで撮影された画像データまでを含んでいる。またテキストデータは、研究論文、雑誌等の掲載記事にまで及ぶ。さらにそのデータは多言語翻訳されている。この膨大な EROS のメタデータ項目は研究、教育へデータをマルチユースする場合、参考にすべきとの結論に至った。

4) 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 6 色顔料プリンター。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。なお、本機種は欧州 Open Heritage Project の主要メンバーであるルーブル美術館や C2RMF で導入されているプリンターの後継機である。

- 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 7 色顔料プリンター。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 インクの特性として、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

7 色の捺染染料プリンターであり、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

て位置付けられるならば、充分なクオリティを持った発色特性と言える。

また、絹、綿での出力実験、後処理加工も施し、捺染プリンターの発色の優位性が確認できた。ただし、素材によつての発色の相違が発生しやすく、素材ごとのカラーマッチングが必要である。



DesignJet5500
(HP)



PX9500/PX9000
(エプソン)



TX1600
(ミマキ)

図4-1-2-1 使用出力デバイス

5) PS ソフトリップによるカラーマネージメント特性

PS (Post Script) ソフトリップ(ソフトウェア RIP)である DS マジック (ブラザー工業製) を用いたカラーマネージメント実験を行った。DS マジックのカラーチャートをベンチマークに、用紙をマット紙に限定して行った実験では、ソフトリップを使わない場合と比べて特に顕著な差異は認められなかった。

一方、データファイルのあるカラープロファイルに設定したフォルダに入れるだけで、自動的にカラープロファイルが入れ替わるドロップフォルダ機能は、分散環境下においても使用可能なカラーマネージメントシステムを確立することに活用できる機能であるとの結論に至った。

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

上記4) の実験結果に見られるようにプリンターのメーカー、機種により発色に差異が生じる。この差異は、プリンターの機種それぞれが持つ、キャリブレーションシステムの違いとインクの違いのふたつが要因をなつて生じると思われるが、どちらかというインクの持つ特性の違いに大きく影響されていると思われる。現状、染料プリンターと顔料プリンターとの発色の差異は特に大きく、別個の修正用カラープロファイルを作らねばならないという結論である。

7) 紙、その他出力メディアによる発色特性

- 光沢系メディアは概して硬調、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。
- マット系メディアは概して軟調、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で行い、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際に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。また和紙は出力後 1~2年すると紙自体が黄変した。
- キャンバス系、ターポリン、シルバーフィルムは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。

- 布系のメディアはすべて彩度、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、エプソン社 PX9000・PX9500 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。
- 平成 17 年度には上記メディアに発色補助剤であるアートキープの処理を行い、発色実験を行った。メディアの柔軟性を失わず、良好な発色が得られるアートキープは、通常の顔料、染料プリンターによる出力でも耐候性が高く、評価できるものであった。

8) 発色の主観的評価

京都デジタルアーカイブ研究センターより作品データ選定のアドバイスを受け、伊藤快彦「大奥女中」(京都市美術館収蔵品)のデータを選択した。京都市美術館から使用許諾を受け、HP 社の DesignJet5500PS/UV プリンターを用いて、同一データを 9 種類の異なる紙質のメディアに出力し、それぞれの色調の差異について研究を行った。

「大奥女中」のデータは、4×5サイズのポジフィルムをフィルムスキャナでデジタルデータ化したものである。撮影段階でライティングの不備が見られ、スキャンされた条件のメタデータも無かったが、コダックの撮影用カラーチャートが写し込まれていたためカラーマッチングデータとして使用することができた。

マット系のペーパーを基準としたカラーマッチングをデータで行い、同じデータですべての用紙で出力した。ワニスが塗布された油絵作品における再現研究の内、出力フェーズの用紙の種類により生じる発色の差異を把握し、数値化できない出力時の「風合い」を比較した。

以下は用紙ごとの主観的評価である。

- ヒューレットパッカーード スタジオキャンバス
ワニスなどによる光沢のある油絵の再現を目的として作られた用紙であり、強い光沢を持つが、不自然さが際立つ色調。
- ヒューレットパッカーード ハーフグロスペーパー
問題の無い発色ではあるがやや黒が強く出て彩度は高くない。黒が強く出るプリンターの特性に忠実。
- ヒューレットパッカーード マットペーパー
問題の無い発色ではあるが彩度は高くない。黒はマットペーパーである分、光沢系の紙に比べてしまりが無く、プリンターの特性がやや薄れた印象。
- ピクトリコ ハイグロス
極めて鮮やかな発色。彩度が高く、中間階調の再現も良好であり最高品質の出力結果となった。
- ピクトリコ ベルベッティ
- 桜井 マットペーパー
上記 2 用紙共、ヒューレットパッカーード マットペーパー同様の発色。マット系としての共通の発色と言える。中間調の再現においてピクトリコ ベルベッティがやや優位。
- 桜井 IJ ターポリン
表面のコート剤の特性からか、若干くすんだ発色特性を持つ。使用目的を主として

大きな光の変化を伴う屋外とするこの用紙としては十分な発色である。

- Too キャンバスクロス
ヒューレットパッカード スタジオキャンバスのような光沢を持つコーティングがされてなく、自然な発色。キャンバス地の織り目が擬似的な効果として得られるが本来写真で写っているものであり、評価の分かれるところである。ニーズとの関連で判断すべきであろう。
- Too 和紙ホワイト
黄変した発色。別のカラーマッチングの作業が明らかに必要。油絵に使用するのは無理があるが、顔料等を使った日本画には紙の風合いが効果的であろう。

これらの結果はギリシアにおける Crisatel プロジェクトレビューにおける発表資料(平成 15 年 4 月)として提出した。

4-1-3 質感表現三次元データ生成処理の研究開発

1) 研究開発概要

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。このため質感情報を行うための基礎的研究として、質感データ入力方式とその処理モデルの検討、ここから、質感表現手法の開発と具体的システム化の方法論について研究開発を行った。

2) 質感データ入力方式-BRDF 計測装置の開発

図 4-1-3-1 に、本研究において開発した BRDF 計測装置を示す。この装置は、スペクトル分布を計測対象とする Gonio-spectrometer であり、各種顔料・絵画支持体などの計測に用いた。本計測装置の基本仕様を表 4-1-3-1 に示す。

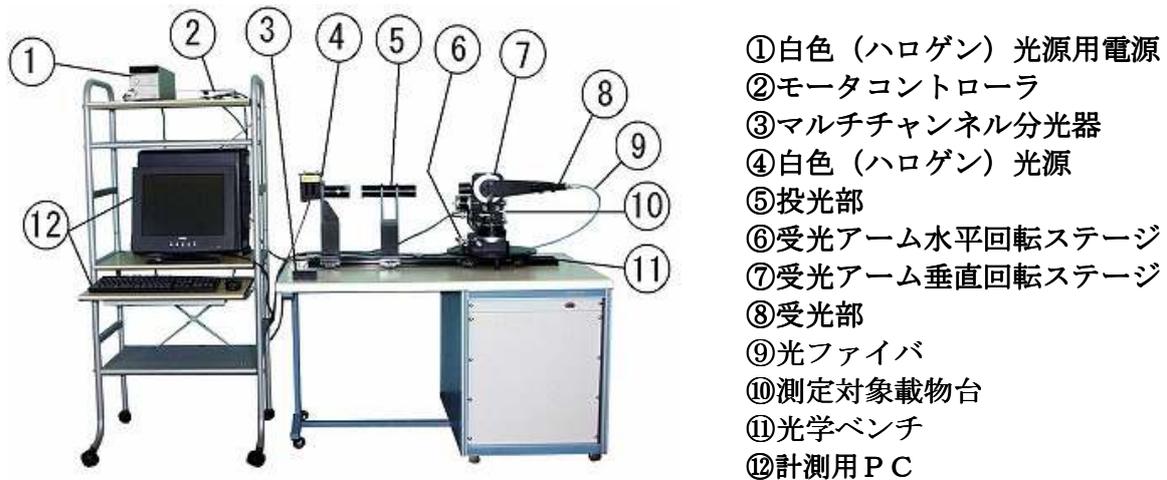


図4-1-3-1 Gonio-spectrometer(BRDF 計測装置)

表4-1-3-1 基本仕様

本体		
品名	数量	備考
光学ベンチ	1	薄型アルミベンチ W=100mm l=1000mm
回転アーム	1	アーム水平回転角-165° ~50° (出荷時) アーム垂直回転角-10° ~100° (出荷時) 最小読取り0.01° [自動] 受光鏡筒固定式
資料回転ステージ	1	±180° 最小読取り0.1° [手動]
資料直線移動ステージ	1	XY 方向±6.5mm [手動] 最小読取り : 0.01mm
資料積載台	1	紙など薄い物用。

投光部		
品名	数量	備考
白色光源	1	ランプハウス内にハロゲン球12V50W フィルター2 枚まで装着可能
白色光源電源	1	DC 安定化電源18V5A
投光側鏡筒	1	f=165、絞り1~30φ

減光フィルター	4	透過率10/20/50/80%。ランプハウスに装着
---------	---	---------------------------

図 4-1-3-1 の Gonio-spectrometer を用い、各種材質および各種素材のマルチスペクトル光源に対応した反射特性基本データの整理とそのモデル化、入力システムの作成を行った。以下に壁画に絞った素材および顔料についての実験結果を示す。

表 4-1-3-2 に、中国新疆地域のベゼクリク石窟寺院内の壁画の下地と顔料の種類を示す。これらの素材と顔料を対象にゴニオフォトメータを用い、市販で手に入る石膏、石灰、朱、黄土、岩群青、岩緑青、炭素についての反射分光特性の計測結果を図 4-1-3-2 に示す。顔料は挽きの荒さによって色調が変化し、挽きが細かいほど明るい色になる。

表4-1-3-2 壁画の下地と顔料

下地	赤色	黄色	青色	緑色	黒色
石膏, 石灰	朱, ベンガラ, 鉛丹	黄土	岩群青	岩緑青	炭素

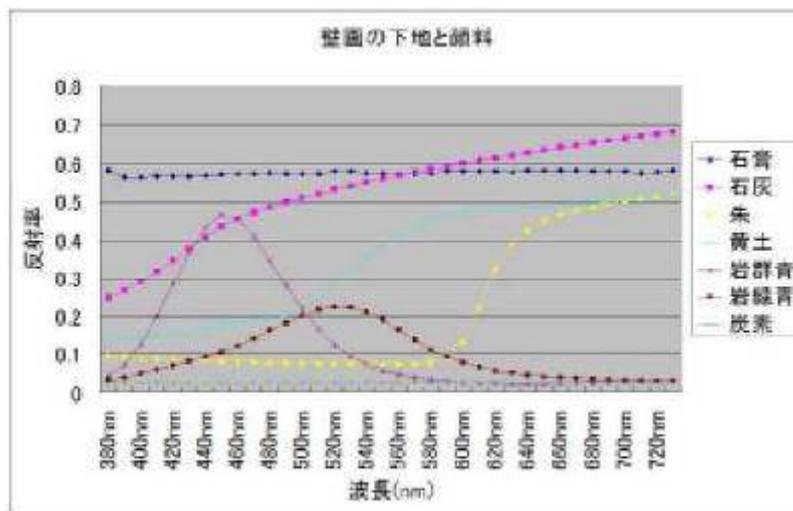


図4-1-3-2 壁画の顔料の分光特性

3) 高精細質感データ入力方式-傾斜ステージ方式テクスチャ入力装置の開発

本研究で開発、使用した傾斜ステージ方式スキャナについて述べる。物体をよりリアルに表現するには、微細形状を表現することが重要であり、従来のカメラで取得したテクスチャよりも遥かに高精細なテクスチャが必要となる。そこで、本装置を開発し、物体表面のテクスチャを取得した。以下に装置の基本的な仕様、及び外観を示す。

表4-1-3-3 基本仕様

項目	内容
光学解像度	400dpi (A3-size, 10680 画素)
ステージ傾斜角度	30° ~ -15° 可変
光源	白色光源
読み取り方式	光学系固定によるステージ移動方式



図4-1-3-3 傾斜ステージスキャナ

本装置は、通常のカメラのように一括で2次元的な画像を得るのではなく1次元 CCD センサーを使用し、ラインとして取得したデータを結合させて画像を取得しているため、通常のカメラを使用した場合に比べ高精細なテクスチャの取得が可能である(図4-1-3-4 参照)。また、通常のカメラを使用した場合に生ずる周辺歪の問題も考慮せずに済むという利点がある。

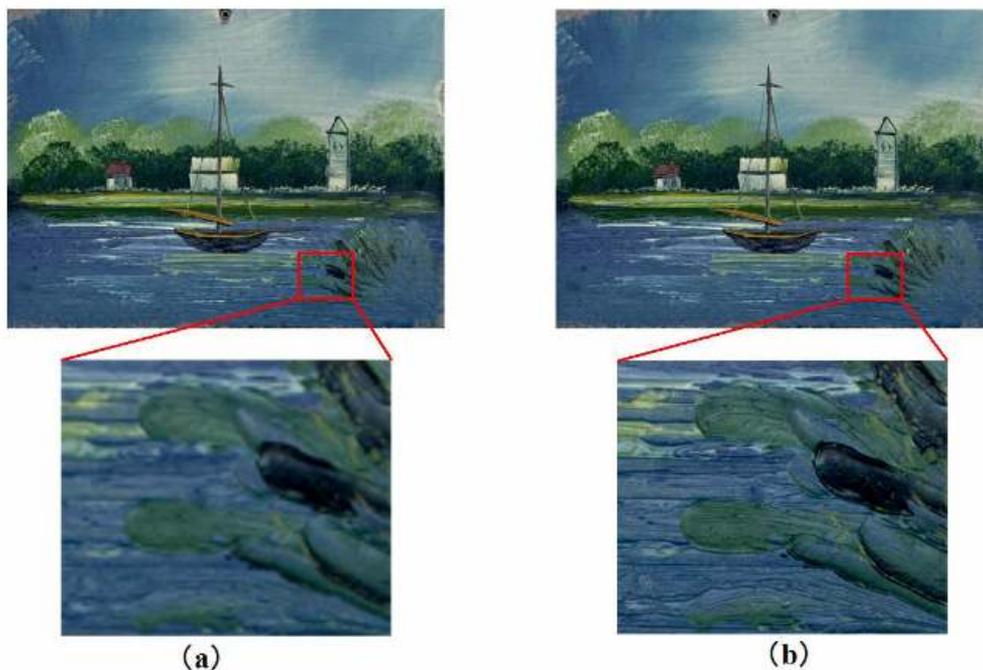


図4-1-3-4 テクスチャ画像の比較 (a)通常デジタルカメラ(ニコン D1X), (b)本スキャナ

さらに、通常のスキャナとは異なり受光センサー部を固定し、対象物を載せたステージ部を移動させることでスキャンしているため、1軸方向に対象物を任意の角度制御で傾斜し、測定することが可能な傾斜ステージを搭載している。この結果、受光センサー部、光源、測定対象のそれぞれの位置関係のずれも最小限に抑えることができ、1軸方向に様々な照明方向と視点方向のテクスチャを得ることが可能である。

装置の有効性を確かめるため、ステージ角と光源角をそれぞれ θ_s 、 θ_l とし、それぞれを変化させ異なる組み合わせにおいて取得したテクスチャを図4-1-3-5に示す。

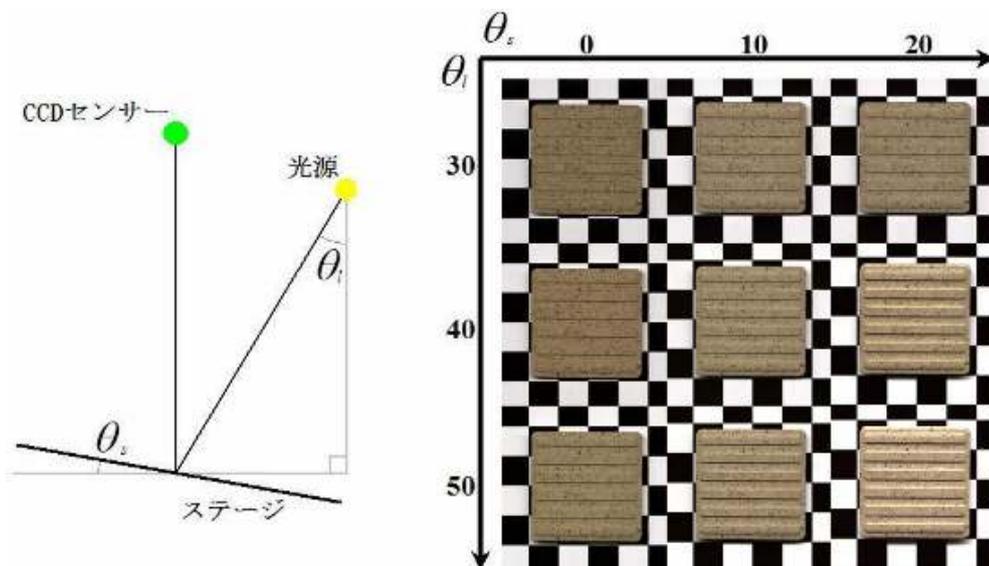


図4-1-3-5 取得テクスチャ

図 4-1-3-5 から、ステージの傾きや光源の方向により取得したテクスチャが変化の様子が明確に示されている。これらの結果からも、傾斜ステージスキャナは角度に密接に依存したテクスチャの取得が可能であり、この装置が非常に有用であることがわかる。

4) 質感データ入力方式の検証実験

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” を検証する。

4-1) 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

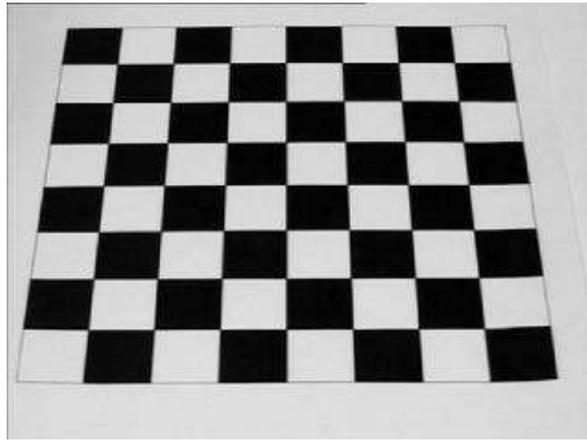


図4-1-3-6 キャリブレーションパターン

Step1 におけるカメラキャリブレーションは、図 4-1-3-6 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 4-1-3-7 に示すような 3 枚の画像を撮影した。

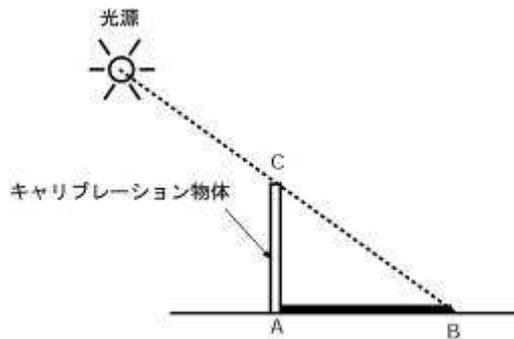
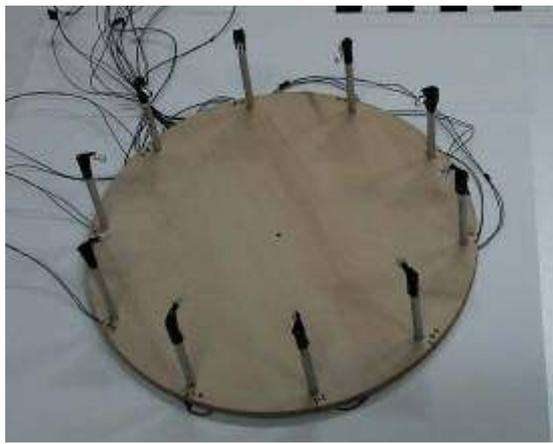


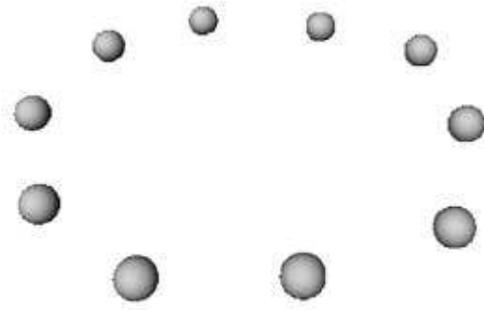
図4-1-3-7 光源位置の推定

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 4-1-3-7 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 4-1-3-8 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4-1-3-8 光源位置の推定

4-2) Image-Based Rendering 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4-1-3-9(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。



(a)



(b)

図4-1-3-9 入力画像群

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) 質感表示ブラウザ

IBRにより生成した画像を呈示するための表示インター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4-1-3-10 質感表示ブラウザ

6) 高精細質感データ入力方式によるデジタルアーカイブ実験

開発した傾斜ステージ方式テクスチャ入力装置を用い、質感表現データベース構築のためのデジタルアーカイブ化を行い、油彩画、日本画、仏画、屏風絵、古文書など 1000 点以上の作品を対象とした質感データ入力・3次元微細形状データ入力実験を行った。

これらの高精細質感データ入力方式によるデジタルアーカイブ実験を行ったコンテンツの内訳を以下に示す。

- ① 油彩画 約 100 点
- ② 日本画・仏画・屏風絵 約 300 点
- ③ 杉戸絵 30 点
- ④ 浮彫り・平面塑像 約 200 点
- ⑤ 古文書（和紙） 約 400 点（ページ）

実験において得られた質感データの例を、質感データ入力の代表例として、可変角での光源による油彩画データをあげ、また、油彩画などで用いられるキャンバス地・顔料などの微細（高さ）構造よりも 3次元構造が明確な浮彫りの例として、大理石製レリーフや、陶器製の石窟民族仮面、仏像レリーフなどの 3次元微細形状入力の処理例を付録 C に示す。併せて、同質感データを用い質感表現を目指した質感表示ブラウザによる表示例を付録 C に示す。

4-1-4 コンテンツ収集

1) 検証用高精細画像データの作成

超高精細コンテンツデジタル化技術における (1) 位置補正・画像合成処理、(2) 歪み補正処理、(3) 色補正処理(カラーマネージメント)の研究を実施するために必要な比較検証用の画像データを作成する。

また、ここで作成された画像データは他のサブテーマである蓄積管理技術やコンテンツナビゲーション技術の研究・実証実験にも必要となるものである。

検証用データ作成の具体的な方法は、大型の文化財を被写体にして超高精細デジタルカメラや大型スキャナを用いてそのデジタル画像を作成することにした。

2) デジタル画像作成の対象（被写体）

研究のねらいから被写体としては比較的大きなもので且つ細かな描写・細工が施されており、色彩が豊富であるかまたは単色であったとしても諧調が豊か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、実証実験のデジタルコンテンツとして使用した。撮影箇所及び撮影件数は、年度毎に以下の通りであり、いずれも本研究の趣旨の賛同と撮影の協力、更には実証実験での使用許諾を得ることができた。

- 平成 14 年度
 - 天台門宗総本山 園城寺（三井寺）（滋賀県大津市）：17点
- 平成 15 年度
 - 相国寺（京都市上京区）：11点
 - 大覚寺（京都市右京区）：11点
 - 天龍寺（京都市右京区）：7点
 - 萬福寺（京都府宇治市）：11点
- 平成 16 年度
 - 相国寺（京都市上京区）：8点
 - 天龍寺（京都市右京区）：13点
 - 禅文化研究所（京都市中京区）：6点
 - 鹿苑寺（金閣寺）（京都市北区）：5点
 - 慈照院・大光明寺（京都市上京区）：3点
- 平成 17 年度
 - 智積院（京都市東山区）：3点
 - 名古屋城（名古屋市中区）：16点

合計 111点

詳細な撮影リストは付録 D に示す。

3) 撮影装置

被写体を記録する解像度について、肉眼で被写体を観察するのと同程度再現性を有したデジタル画像として、被写体に対して5～10画素/mmの精度で記録することにした。最高画素数1億3000万画素を有するデジタルカメラと、最高画素数4億3000万画素を有するスキャナを併用した。スキャナでは幅900mm×高さ1980mmまでの大きさの文化財を1カットで撮影することが可能であり、襖絵の撮影に最適である。一方、壁貼付の文化財については、本スキャナの適用は難しく、デジタルカメラでの撮影が最適である。

使用した撮影機器の概略仕様を以下に記す。

- デジタルカメラ仕様
 - 撮像部：フェーズワン FX (Phase One 社製デジタルカメラバック)
 - 方式：CCD ラインセンサーによるスキャニング
 - 解像度：300dpi 1億3000万画素
 - 最大画像ファイルサイズ：600～700MB (RGB 8bit- TIFF)

- カメラ本体：4×5 インチ版大型カメラ
- スキャナ仕様
 - 撮像部：デジタルアーカイブスキャナー(大日本スクリーン製造(株)製)
 - 方式：1 ラインカラーCCD、7300pixels 光学部垂直移動方式
 - 解像度：210dpi 1億2000万画素
 - 最大画像ファイルサイズ：500～600MB(RGB 8bit- TIFF)

4) 照明装置

貴重な文化財を撮影する際に、照明光の紫外線や赤外線(熱)による文化財の損傷・劣化を防ぐため、照明光源には下記のような紫外線や赤外線(発熱)の少ないものを使用した。

- ・写真撮影用蛍光灯 (色温度 5500° K)

さらに、光源に紫外線カットフィルタ(アセテートフィルム製、透過率 90%以上、紫外線を 390nm でカット、難燃性)および光拡散フィルタを施した。

5) 撮影方法

高精細デジタル画像を生成するために安定な光量を確保するため、フェーズワン FX 特別仕様の照明装置(蛍光灯 16 本内蔵)を 4 台用いた。

スキャナは、紫外線カットの写真撮影用蛍光灯 2 本を使用した。

撮影記録は 8bit-RGB あるいは 16bit-RGB とし、色温度調整により撮影画像のグレースケールバランスを整えた。

6) まとめ

課題アの開発課題である、超高精細コンテンツデジタル化技術との比較検証及び実証実験等で使用するためのコンテンツ収集を目的に、超高解像度デジタルカメラ、スキャナを用いて文化的価値の高い襖絵や屏風、掛け軸など 100 点以上のデジタルを行うことができた。また、これらのデジタルコンテンツを用いて、カラーマネージメントの出力検証やネットワークを介したコンテンツ配信実証実験などを実施した。

4-2 【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

4-2-1 コンテンツの階層的な蓄積方法

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、一つは超高精細デジタルコンテンツのファイル内部構造としての階層的蓄積であり、もう一つはコンテンツの情報を管理するデータベースの階層的蓄積である。

まず、超高精細デジタルコンテンツのファイル内部構造として、解像度多重、品質レベル(ロッキー/ビジュアリーロスレス/ロスレス)、高階調対応の拡張、色空間対応の拡張、拡大画像品質(エッジ、シャープネス)などの検討を行い、基本構造をパネル分割型のピラミッド構造とした。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して保持することを基本的な構成とした。

その後、解像度多重フォーマットの実データ変換プログラムの試作を行い、デコードテストを行った。このデコードテストを基にビジュアリーロスレスの画像品質、ならびに、圧縮率の最適化を検証し、改良を行った。

最終的に、2段階の色深度多重と最高9段階の解像度の構造を持つ解像度多重フォーマットのエンコードならびにデコード処理プログラムを開発した。このファイル内部の蓄積方式では、解像度多重と色深度多重の双方で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できる。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、その都度、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。

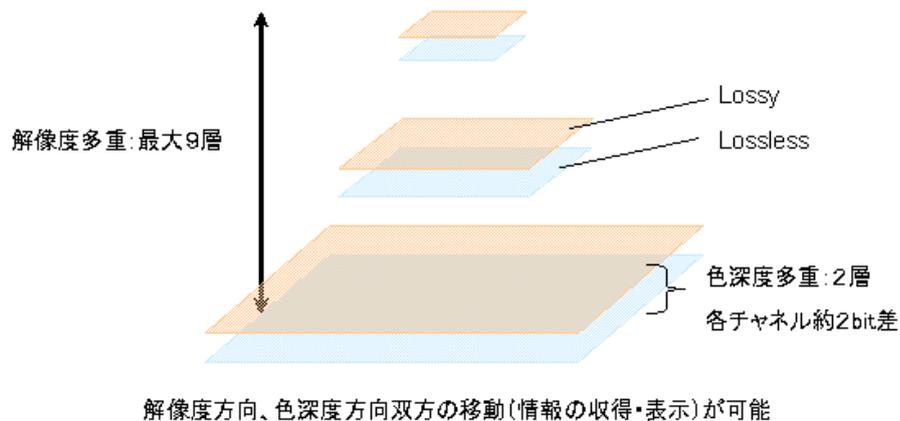


図4-2-1-1 解像度多重レベルと色深度多重レベル

コンテンツ情報を管理するデータベースの階層的蓄積については、著作権管理を行うサーバと連携する仕組みを検討し、分散環境におけるコンテンツ配信システムのオペレーションを統一的に扱うユーザインターフェースを検討した。

分散著作権管理システムで保護されているデジタルコンテンツデータは、全て登録を行った著作権管理サーバに保持される。これをマスターデータと呼ぶ。

著作権管理サーバは、主にコンテンツ自身の管理を行うコンテンツホルダーと、主に利用者の管理を行うコンテンツデストリビューターとで、それぞれ独立・連携して運用することができる。この2台の著作権管理システムの連携は、先ず、利用者端末から保護されたファイルにアクセスすると、利用者管理用サーバとの間に通信が行われ、ユーザ認証が行われる。その後、要求されたコンテンツが他の著作権管理サーバで管理されている場合、利用者管理用サーバからコンテンツ管理用サーバへ通信が行われ、暗号化

によって保護されたコンテンツの復号化鍵を取得が行われる。利用者管理用サーバは、復号化鍵を取得すると利用者制限情報と共にクライアントへ送信することで行われる。

コンテンツデータに関しても、先ず、利用者管理用サーバに問い合わせが発生し、既に、データがこのサーバにキャッシュされている場合は、直接、利用者端末に提供する。キャッシュされていない場合は、コンテンツ管理用サーバに対して、内部的に問い合わせが発生して、キャッシュにデータを保存すると共に、利用者端末へ提供する。

仲介サーバにおけるキャッシュ機能は、利用者端末から要求のあったパネルや解像度部分などファイル内部の構造に応じて処理されるため、ネットワーク上のトラフィックを抑えることができる。

これらの結果、アーカイブされた画像を自身が一番近いサーバ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ことができる。

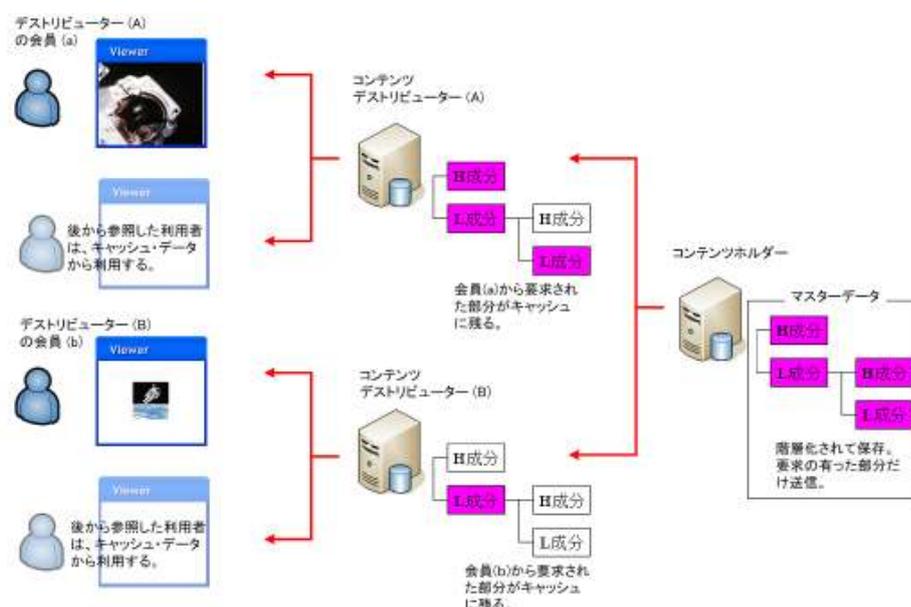


図4-2-1-2 階層化されたデータベース

逆に、利用者から見ると、1つのコンテンツホルダーのサーバに1つのカテゴリーのコンテンツデータが割り当てられていると見立てるとして、その枝（コンテンツホルダー）の集まり全体が大きなデータベースとして扱えるようになる。

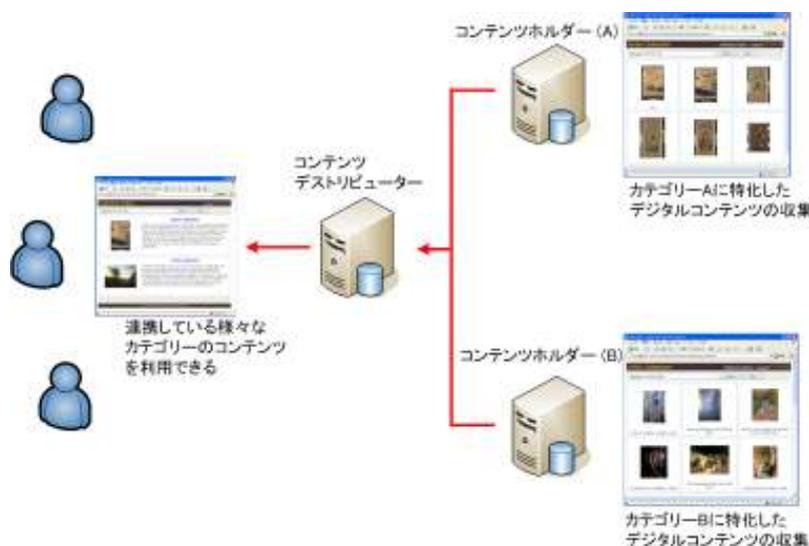


図4-2-1-3 分散化されたコンテンツデータのデータベース

以上により、コンテンツの階層化がなされ、矛盾のない統一的な管理を可能とした。

4-2-2 分散環境著作権管理方式

データベース構造を持ったネットワーク上のサーバの1つ1つがそれぞれ効率的なコンテンツデータ管理、著作権管理等を実現する仕組みについて研究を行った。

まず、単体での著作権管理機能について説明する。図4-2-2-1は、単体での著作権管理サーバの機能を示したものである。利用者が保護されたコンテンツへアクセスすると、利用者端末と著作権管理システムとが通信を行い、認証が行われる。著作権管理システムには、ユーザ情報を管理するユーザ管理機能とコンテンツ情報を管理するコンテンツ管理機能とコンテンツと利用者の関係情報を管理するライセンス管理機能とで構成されており、認証作業は、著作権管理システムのユーザ管理機能とライセンス管理機能から、アクセスユーザが登録利用者であるか、また、所望のコンテンツに対するアクセス権を有するか、順に確認され、権利を有する場合、著作権管理サーバから利用者端末に対し、暗号化され保護されたコンテンツを、復号化して読み取るための復号化鍵と、利用者に与えられた仕様許諾範囲「ルール」が送られる。利用者端末では、ルールに基づき利用者へコンテンツの利用を提供する。

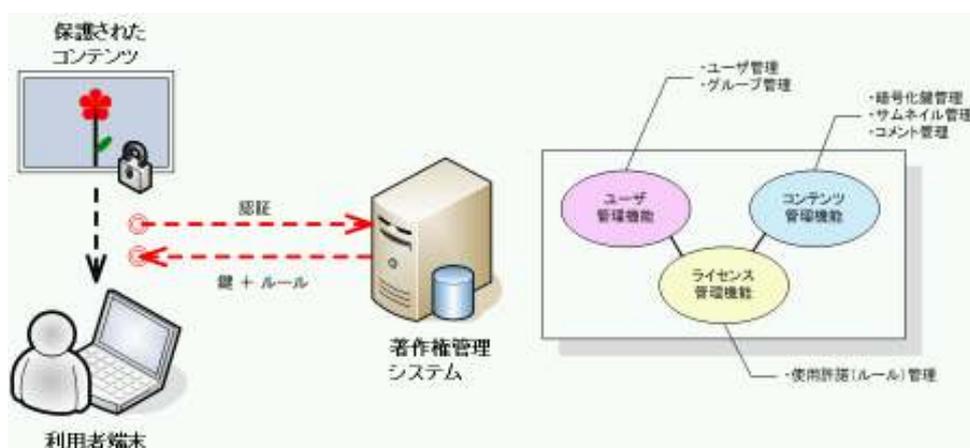


図4-2-2-1 単体での著作権管理システム

利用者端末では、コンテンツへのアクセス時に図4-2-2-2のようなダイアログが表示され、サーバでの認証作業を要求される。

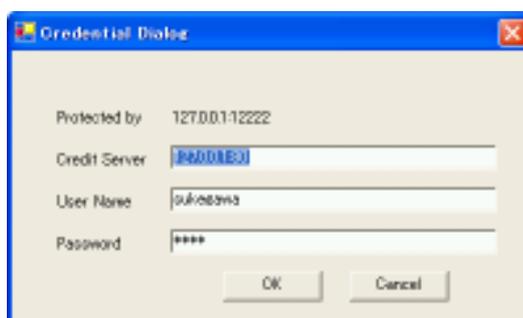


図4-2-2-2 利用者に対する認証の要求

認証が通ると、利用者に割り当てられたルール（ライセンス）に応じて、コンテンツを利用することができる。例えば、利用者に応じて、印刷することが抑制されていたり、多重化された解像度の高解像度情報が抑制されていたりする。



図4-2-2-3 ルールに基づき制限されたコンテンツの利用

次に、著作権管理システムの管理画面を図4-2-2-4に示す。著作権管理は、前述の通り、ユーザ管理機能、コンテンツ管理機能、ライセンス管理機能を備えている。著作権管理サーバへアクセスすると、管理者としてのIDとパスワードが要求される。

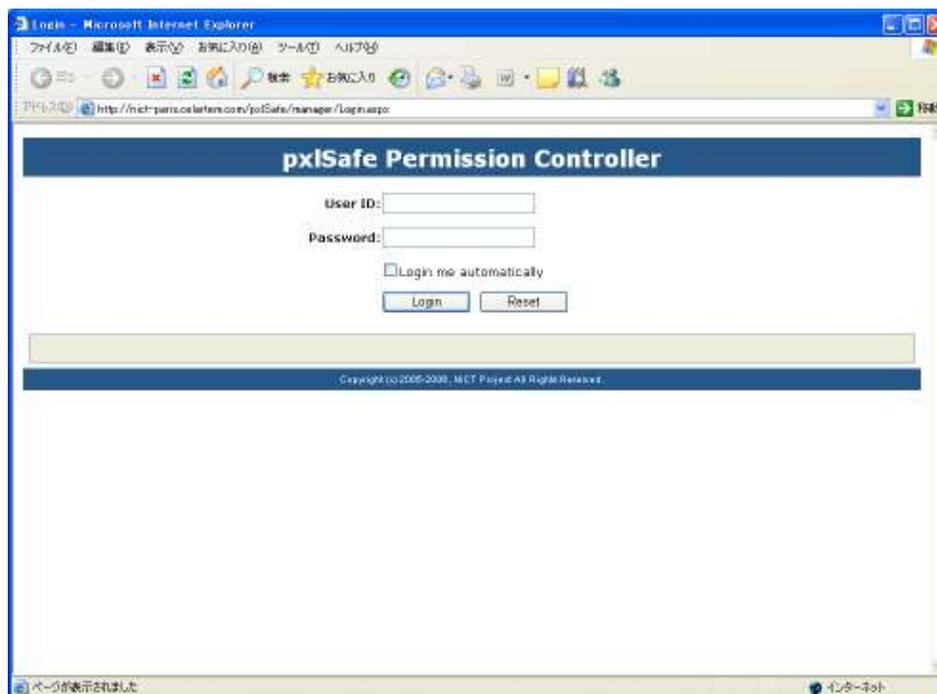


図4-2-2-4 著作権管理システムのログイン画面

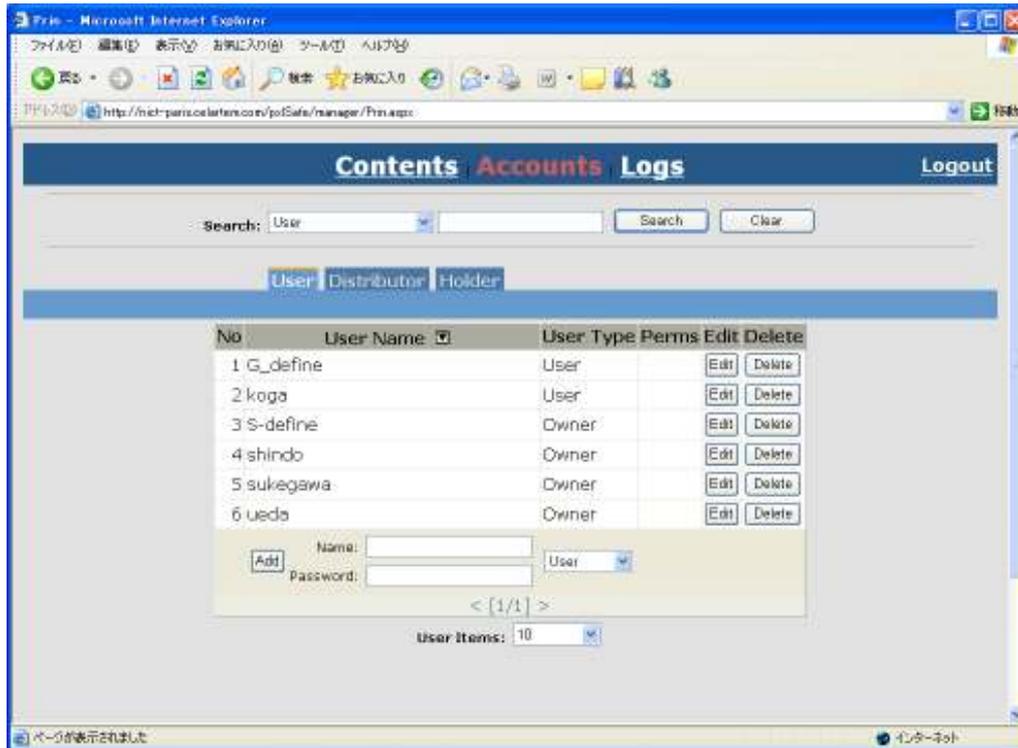


図4-2-2-1-5 著作権管理システムのユーザ管理機能

著作権管理システムには、利用者の情報が登録されている。利用者にはコンテンツを追加登録することのできるオーナーと、参照のみ行うユーザの2つのユーザ・タイプが存在する。

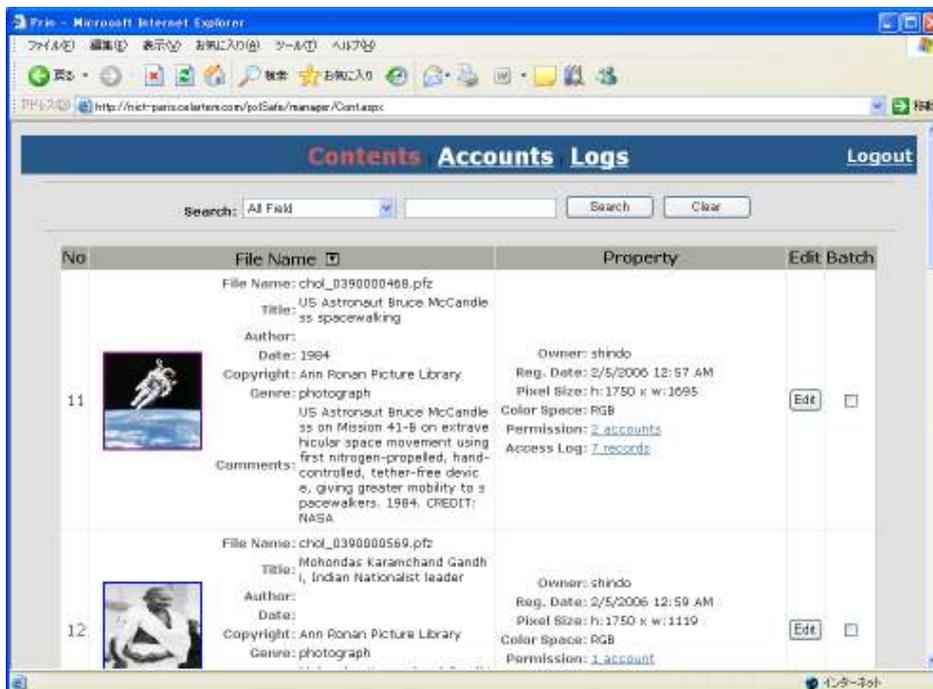


図4-2-2-6 著作権管理システムのコンテンツ管理画面

著作権管理システムには、保護するコンテンツの一覧が表示される。各コンテンツには、暗号化鍵と合わせて、サムネイルや属性情報などが記録され、必要に応じて編集することができる。

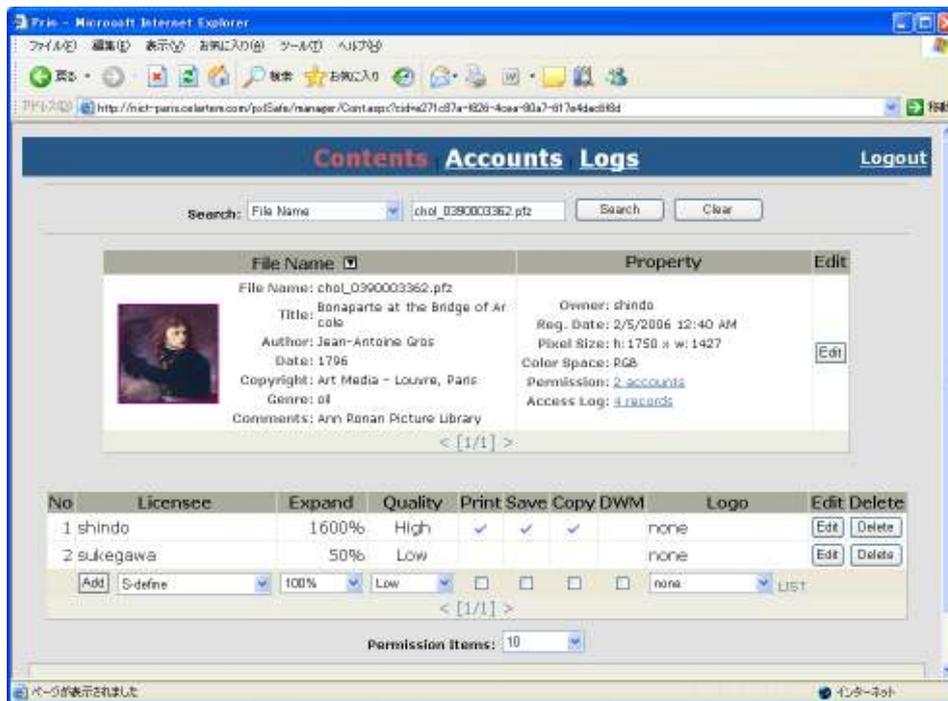


図4-2-2-7 著作権管理システムにおけるライセンス管理機能

前記のコンテンツ管理画面でコンテンツの一つを選択すると、関連付けられた利用者の一覧が表示される。この画面では、利用者毎に、印刷の可否、セーブの可否、解像度の上限、画像品質の制限などを割り当てることができる。

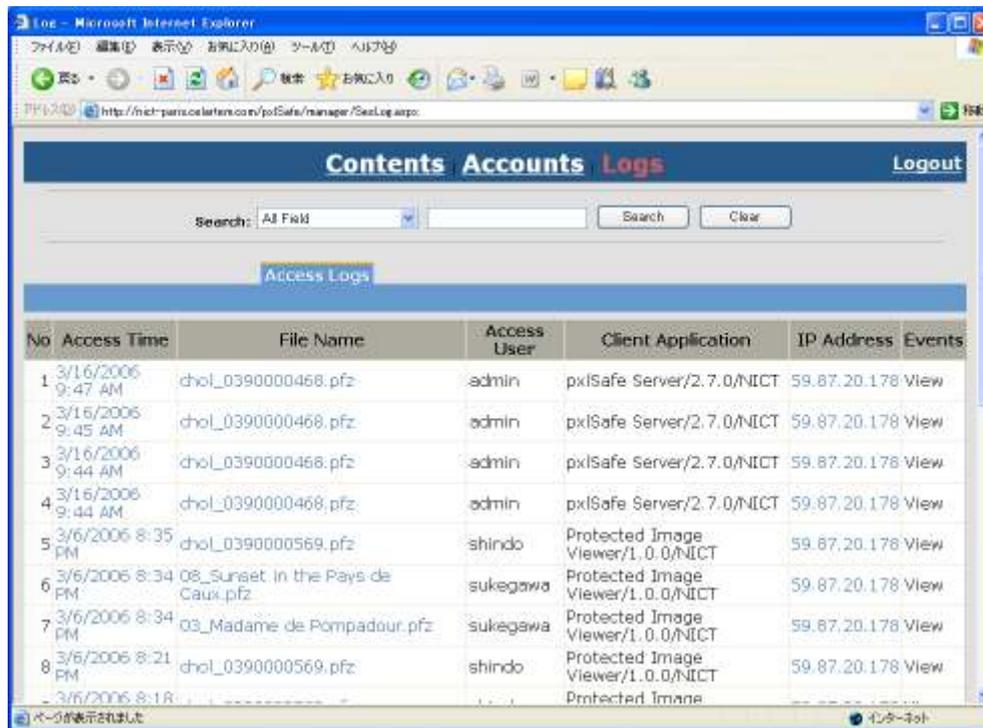


図4-2-2-8 アクセス状況の確認

利用者が保護されたコンテンツへアクセスする毎に、著作権管理サーバに対して認証から許諾の処理が行われる。したがって、著作権管理サーバ上では、何時、どの利用者が、どのコンテンツを要求し、そのリクエストが成功したか、失敗したかをログに記録することができる。サーバのログ確認画面では、そうしたアクセス状況を確認することができる。

複数の著作権管理サーバが連携して動作する仕組みについて説明する。

ここで、著作権管理の連携は、主にコンテンツを管理するコンテンツホルダー向けのサーバと、ユーザならびに使用許諾情報を管理するコンテンツプロバイダー向けのサーバとに分離して運用が可能となるように設計を行った。すなわち、コンテンツホルダーは、新規にコンテンツを増やすことに専念し、利用者を増やすことはコンテンツデストリビューターに移管し、一方、コンテンツデストリビューターは、新規に利用者会員を増やすことに専念し、コンテンツを増やすことはコンテンツホルダーに移管するビジネスモデルを想定している。また、コンテンツデストリビューターは、提携するコンテンツホルダーの数を増やし、コンテンツホルダーは、提携するコンテンツデストリビューターの数を増やすことで、コンテンツの流通規模を急速に拡大することができるよう想定して設計を行った。

図 4-2-2-9 に 2 台の著作権管理システムの連携の様子を示す。まず、利用者端末から保護されたファイルにアクセスすると、利用者管理用サーバとの間に通信が行われ、ユーザ認証が行われる。その後、要求されたコンテンツが他の著作権管理サーバで管理されている場合、利用者管理用サーバからコンテンツ管理用サーバへ通信が行われ、暗号化によって保護されたコンテンツの復号化鍵を取得が行われる。利用者管理用サーバは、復号化鍵を取得すると利用者制限情報と共にクライアントへ送信する。

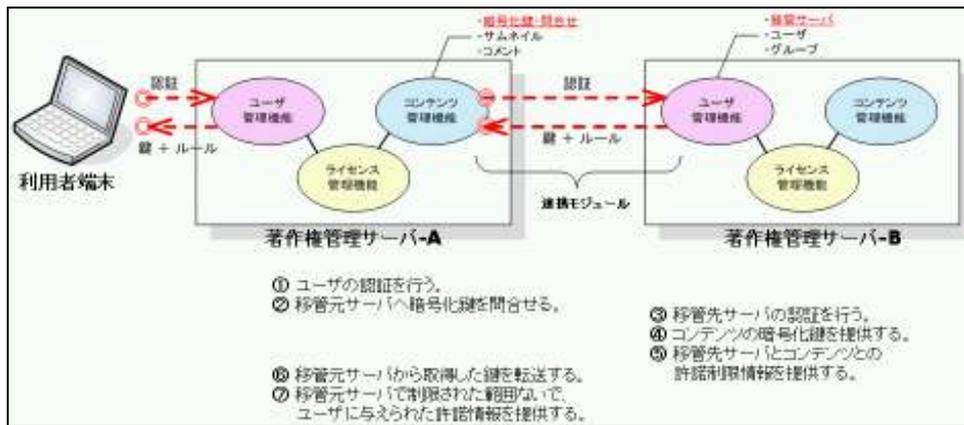


図 4-2-2-9 分散著作権管理システムの連携

図 4-2-2-10 は、コンテンツを提供するコンテンツホルダーにおける、新規のコンテンツデストリビューターを登録、編集、削除するための画面である。

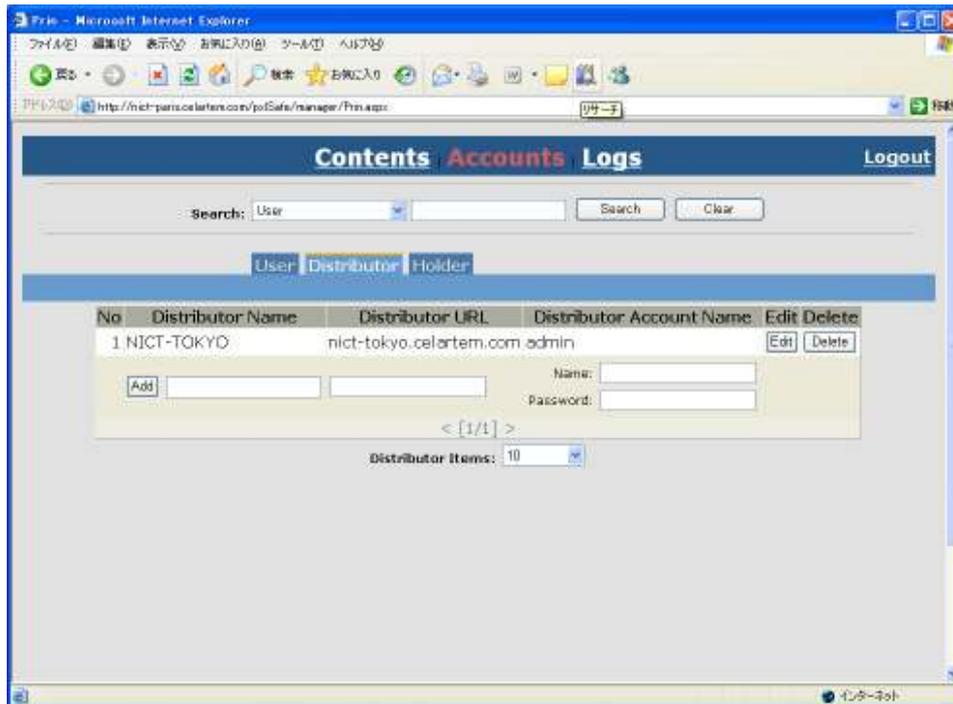


図4-2-2-10 分散著作権管理システムのコンテンツデストリビューター情報管理画面

コンテンツデストリビューターが登録されると、ライセンス管理画面で、一般ユーザに使用許諾の設定を行うのと同じ要領で、コンテンツホルダーに対して使用許諾の設定を行うことができる。

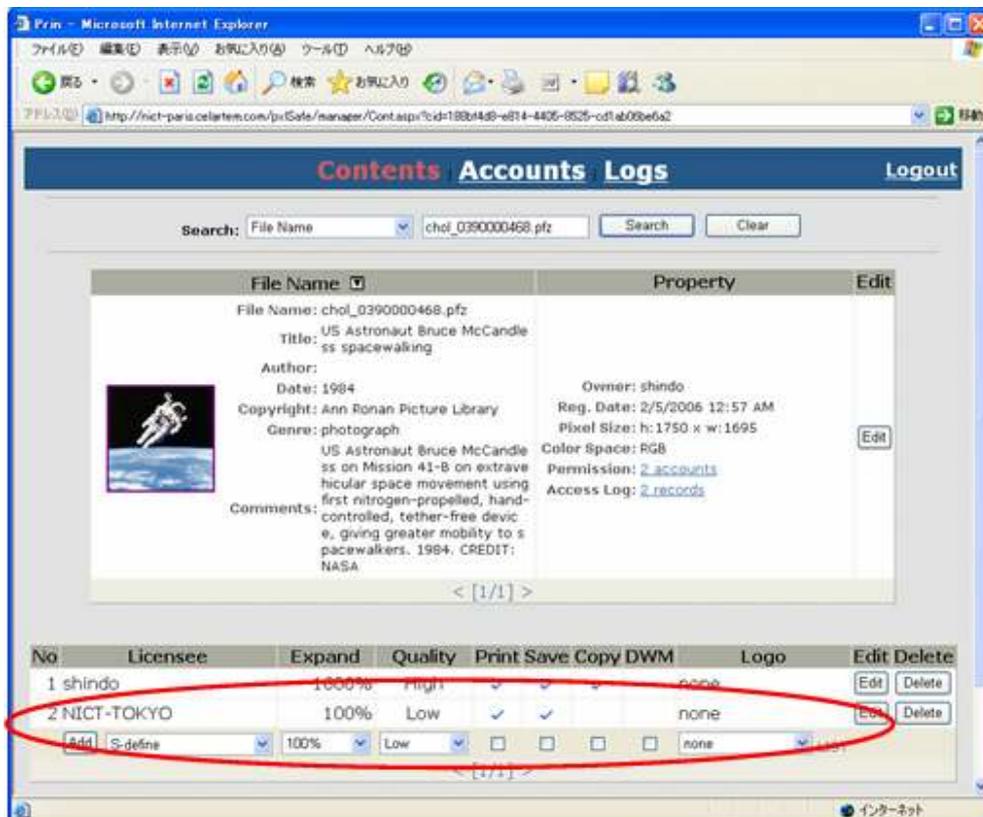


図4-2-2-11 コンテンツデストリビューターに許諾を行う

一方、図 4-2-2-12 は、コンテンツを受給するコンテンツデストリビューターにおけ

る新規コンテンツホルダーの登録ならびに編集・削除を行うための画面である。

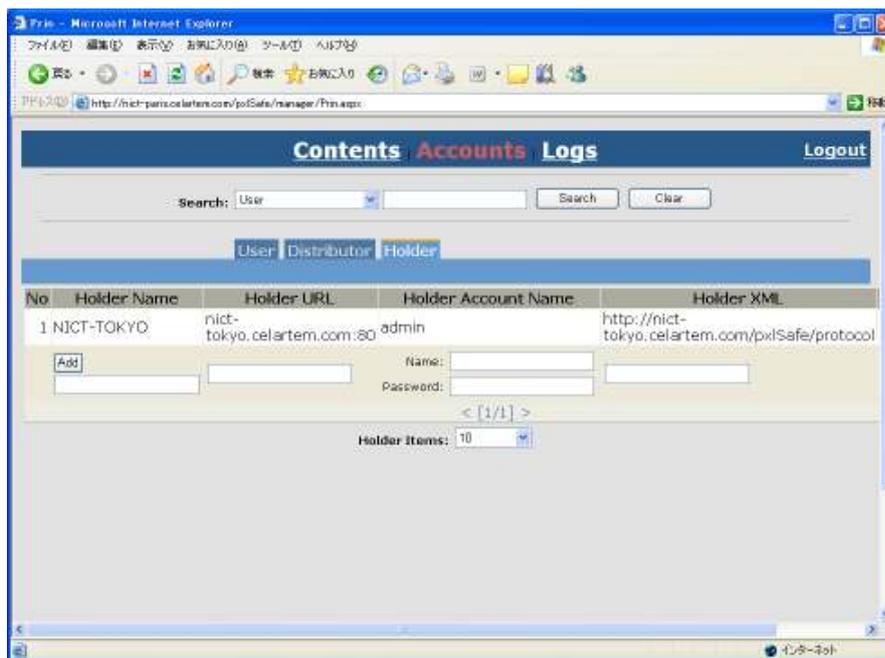


図4-2-2-12 分散著作権管理システムのコンテンツホルダーの管理画面

コンテンツデストリビューター側の著作権管理サーバでは、登録されたコンテンツホルダーの情報を基に、定期的にコンテンツホルダーへアクセスし、自身に許諾されたコンテンツのサムネイルや属性情報などの一覧情報を暗号化されたXML形式のファイルで取得する。新たにコンテンツホルダーから許諾されたコンテンツがあった場合、自動的にコンテンツ管理画面に、コンテンツ情報が登録される。この際、コンテンツの所有者は、ローカルシステムのオーナー権限ユーザではなく、コンテンツホルダーになっていることに注目されたい。

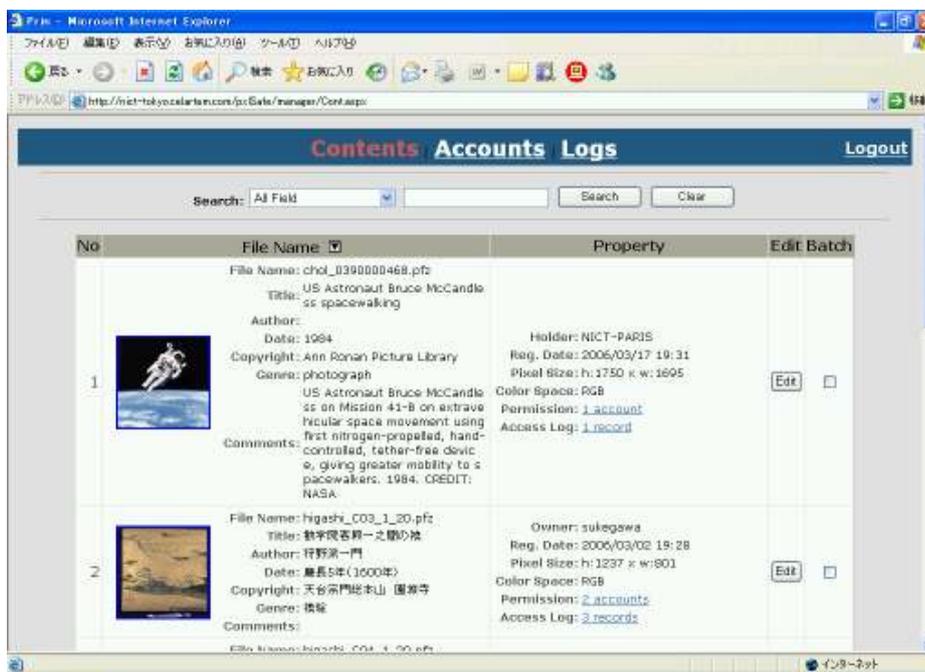


図4-2-2-13 デストリビューターにコンテンツ自動追加

以後は、自身のコンテンツと同様、利用者に対して使用許諾の設定を行うことにより、新たなコンテンツを提供することができる。

以上のように、巨大なデータベース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、そのデータベース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ことができた。

また、著作権管理システムを分散し、利用者管理用サーバとコンテンツ管理用サーバに分けて相互に運用することにより、コンテンツホルダーは複数のコンテンツプロバイダーにコンテンツ利用者の管理を移譲できる。また、コンテンツプロバイダーも多くのコンテンツホルダーと連携することにより、効果的にコンテンツを増やすことが可能となるようなビジネスモデルを提案し、実証実験を行った。

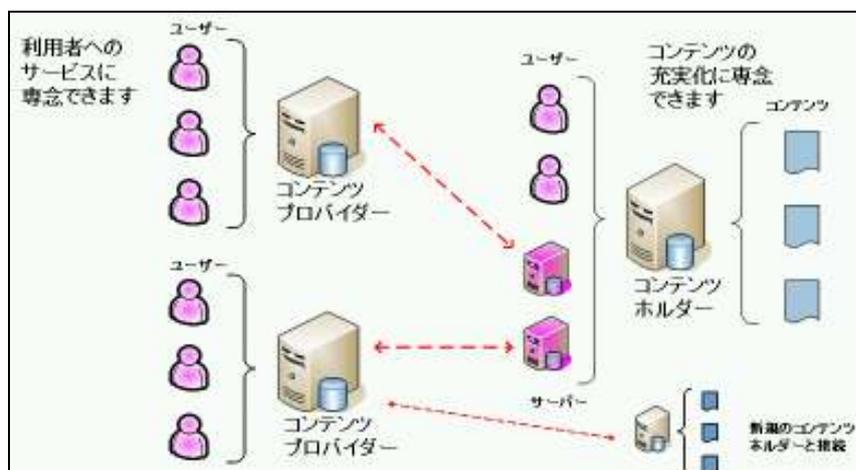


図4-2-2-14 分散著作権管理システムによる効果

以上により、著作権管理情報のデータベースを持ったネットワーク上の有意な著作権管理サーバの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ついて研究を行い、これにより、巨大なデータベース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、そのデータベース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分散環境下における著作権管理技術を確立し、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した。

4-2-3 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の著作権保護を確立し、一般の利用を拡大促進する目的で、コンテンツの制作・流通などの過程で必要と考えられる5種類（著作権保護用電子透かし、真正性証明用電子透かし、メタデータ埋め込み用電子透かし、画質劣化用電子透かし、可視電子透かし）の電子透かし技術の開発を行った。それぞれの透かしは以下の特徴を持つ。

著作権保護用電子透かし

著作権情報の埋め込み用で、部分切り出しや回転など変換処理に対しても耐性を持つ

真正性証明用透かし

画像に改竄が無いことを保証し、改竄があれば検出できる

メタデータ埋め込み用電子透かし

画像の付加情報を埋め込む

画質劣化用電子透かし

画質を故意に劣化させる透かし

可視電子透かし

真正性証明透かしの拡張版。透かしが埋め込まれていることを明示する「マーク」を重畳

図4-2-3-1は著作権保護用とメタデータ埋め込み用透かしの埋め込んだ場合の利用例を示したものである。

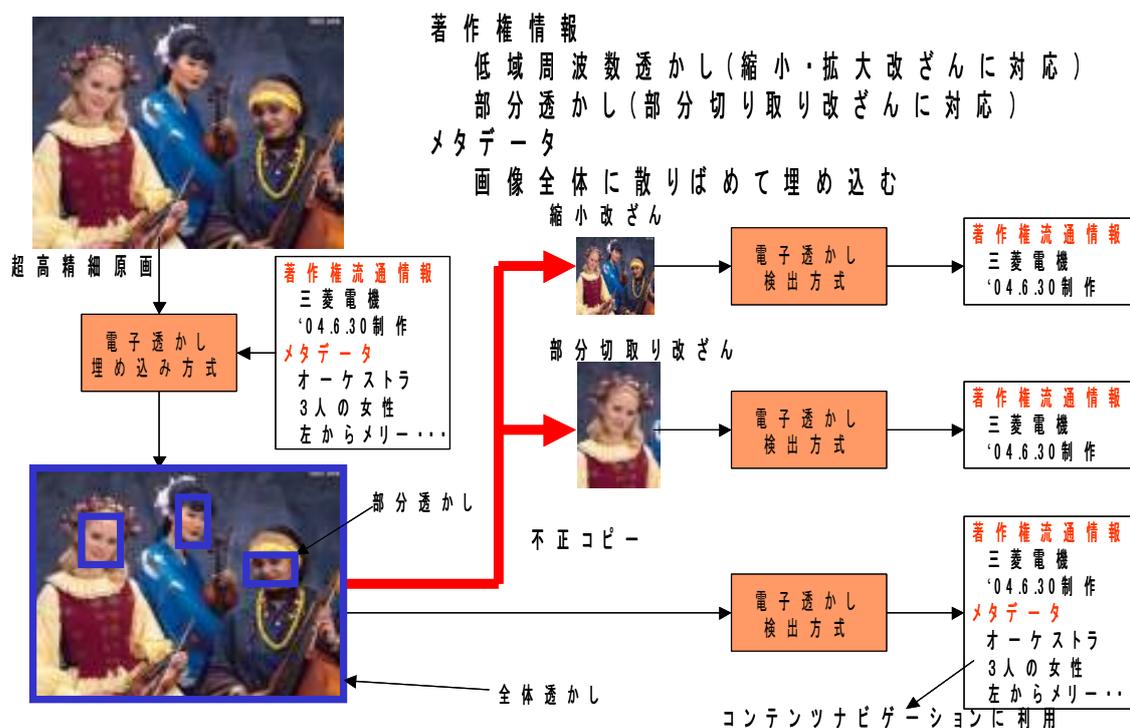


図4-2-3-1 各種編集・変換処理に対して耐性を持つ電子透かし

1) 著作権保護用電子透かし

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、画像処理などが行われても埋め込まれた透かし情報が検出できる耐性が必要である。さまざまな攻撃に対する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を埋め込む必要がある。

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が多い。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・試作検証を行った。

1-1) 従来方式

従来の方式として、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]は統計的性質を利用して情報を埋め込むもので、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が、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り、汎用性に欠ける。

一方、I. J. Cox らが提案する方式[2]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もので、印刷後に再スキャンした画像からも透かし情報の検出が可能であるが、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が必要となる。本研究で対象とする画像は、数千×数千画素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バイトになり、電子透かし情報有無の 2 種類の画像を保持しておくのはデータ蓄積容量の点からも現実的ではない。

1-2) 基本方式

本研究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 に近づけると同時に、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方式を検討した。

ここでは以下に示す空間パターンの組み合わせを利用して情報の埋め込みを行う。

【空間パターン a】

画素毎に+1 と-1 とを固定的に交互に設定したパターン。

+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】

2×2 画素単位に、+1 と-1 とをランダムに設定したパターン。

+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 δ 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、上記の空間パターン 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。

$$x'_{ij} = \delta \times (a_{ij} \times b_{ij}) + x_{ij} \quad (\text{式 4-2-3-1})$$

埋め込んだ情報は、以下の手順で行う。

- 1) 2×2 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。

$$R = \frac{1}{4N} \sum_{i,j} x'_{ij} (a_{ij} \cdot b_{ij}) \quad (\text{ただし、} i, j \in B) \quad (\text{式 4-2-3-2})$$

- 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。

1-3) 検出精度向上を目的とした改良

電子透かしの検出精度を向上させる新たな手法を考案し、その基礎検討を行った。この手法は、互いに直交する拡散パターンのどれか一つを情報の埋め込みに用い、その拡散パターンのどれを用いたかによって、さらなる情報を埋め込もうとするものである。これによって、検出処理は複雑になるが、一定の透かし電力に対する埋め込み情報量を増加させることができる。また、埋め込み情報量が同じ場合には、その検出精度を向上させることができる。

本研究では、解像度が 4,000 画素 (横) \times 4,000 画素 (縦) の画像に対し、256 ビットのデータを電子透かしとして埋め込むことを目標としている。平成 15 年度に開発した電子透かし方式は、ウェーブレット変換を水平方向に 3 段、垂直方向に 1 段適用して抽出した低域成分に電子透かしを埋め込むものである。ここで、埋め込み対象画像から抽出される低域成分画像の画素数は、500 画素 (横) \times 2,000 画素 (縦) = 1,000,000 画素となる。この領域に 256 ビットを埋め込むとすると、1 ビット埋め込むために使える画素数は $1,000,000 / 256 = 3,906.25$ 画素となる。

ここで、1 組あたり 4 ビットを表現可能な直交拡散パターンを使えば、1 つの直交拡散パターンの埋め込みに使える画素数は $3,906.25 \times 4 = 15,625$ 画素となる。すなわち、組の中のどのパターンを用いたかによって 4 ビットの情報を伝達できるので、従来 1 ビットの埋め込みに用いていた四つの領域を一つの拡散パターンに割り当てることができる。開発方式では、原理的に一つのパターンを埋め込むために使える画素数が多くなればなるほど検出精度が向上する。つまり、埋め込み・検出に直交拡散パターンを使うことにより、検出精度向上を達成した。

1-4) 検出結果信頼度の推定

本研究では、誤検出率を下げるためにさまざまなアルゴリズム改良を実施した。しかしながら、誤検出を完全に防止することは困難であり、これが課題に検出誤り率目標を設定した経緯でもある。しかし、検討の結果、検出したビット情報の信頼性を評価するほうが適切であることが判った。

電子透かし情報埋め込み時に直交する拡散パターンを積算し、検出時に複数の直交拡散パターンとの相関計算結果を利用する。相関の計算では、画像にランダムに割り当てられた埋め込み位置から画素値を抽出し、拡散パターンとの相関を計算している。そのため、直交拡散パターンが一致しない場合の相関値 v は、中心極限定理によって平均 0、分散の正規分布に従うと期待できる。

そこで、直交拡散パターンが一致したときの相関値と一致しないときの相関値との比較方法として、直交拡散パターンが一致しないときの n 個の相関値から平均値 μ と標準偏差 σ を求め、直交拡散パターンが一致したときの相関値が σ の何倍になっているかで比較することを考えればよい。

すなわち、直交拡散パターンが一致したときの相関値を v_{meet} 、直交拡散パターン不一致時の n 個の相関値を v_1, v_2, \dots, v_n としたとき、平均値 μ と標準偏差 σ はそれぞれ以下のように計算される。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad \text{f (式 4-2-3-3)}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \mu)^2} \quad \text{(式 4-2-3-4)}$$

このとき、直交拡散パターンが一致したときの相関値が σ の何倍になっているかの評価を、以下の値を計算することによって行う。

$$k_0 = \frac{|v_{meet} - \mu|}{\sigma} \quad \text{(式 4-2-3-5)}$$

検出情報の信頼性の評価を、攻撃後の画像に対して実験を行った（詳細は付録 H-1 に示す）。パターン長が 4 の直交拡散パターンを適用して電子透かしの埋め込みを実施した。実験では（式 4-2-3-5）に示した k_0 の値の他、比較のために以下の値も算出した。ただし、 v_1, v_2, v_3 は直交拡散パターン不一致時の相関値である

$$k_1 = \frac{|v_1 - \mu|}{\sigma} \quad \text{(式 4-2-3-6)}$$

$$k_2 = \frac{|v_2 - \mu|}{\sigma} \quad \text{(式 4-2-3-7)}$$

$$k_3 = \frac{|v_3 - \mu|}{\sigma} \quad \text{(式 4-2-3-8)}$$

実験結果によれば、 k_0 は 3 程度以上となり、埋め込み時と不一致の直交拡散パターンを使ったときの k 値 ($k_1 \sim k_3$) は、 $k_i \ll 3$ ($i=1, 2, 3$) であった。すなわち、ISO/JIS-SCID 標準画像と本研究で別途取得した解像度 $4,000 \times 4,000$ の超高精細画像やこれらを JPEG 圧縮したものを含む一般的な自然画像に対して（式 4-2-3-5）に示した k_0 の値は、 $k_0 > 3$ を満たし、このような画像に対しては、今回開発した電子透かしの検出は十分な信頼性を持っており、誤り率として議論するよりも信頼性の問題として十分な信頼性を持っていると言えることがわかった。

1-5) 電子透かし埋め込み画像の画質評価 (PSNR 測定)

電子透かし埋め込み後の画像について、PSNR の測定を行った。測定結果を表 4-2-3-1 に示す。測定した全ての画像で、目標値である 45dB を上回っていることが確認できた。すなわち解像度 $4,000 \times 4,000$ の画像と SN 比を条件として 256 ビットデータの検出の誤り率の問題として捉えると、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、検出の誤り率が 10^{-5} 以下となることと、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検討する問題と捉えるとその誤り率が 10^{-3} 以下なることが確認できた。

表4-2-3-1 電子透かし埋め込み画像のPSNR

	PSNR[dB]
ポートレート	48.06
カフェテリア	48.08
果物かご (籠)	48.06
ワインと食器	48.06
自転車	48.07
蘭	48.06
ミュージシャン	48.09
キャンドル	48.10

1-6) まとめ

著作権保護用透かしの基本方式を開発するとともに、検出精度向上を目的とした改良を実施した。さらに検出結果の信頼度を推定する方法を考案した。その結果、本課題の下記最終目標を達成した。

- 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 画素)
- 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。

(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.

2) 真正性証明用電子透かし

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竄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おいては有用と考えられる。ここでは JPEG 方式で符号化された画像に対して、確実に改竄を検出する電子透かしの方法を開発した。

まず、128 個の DCT ブロックを 1 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。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 ブロックのスキュアの最後に追加する。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 (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)。

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おり、この構造が 1 ビットでも改竄されれば、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」の値しか取らないため、これを他の値に変更した場合も、確実に改竄を検知できる。また、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。

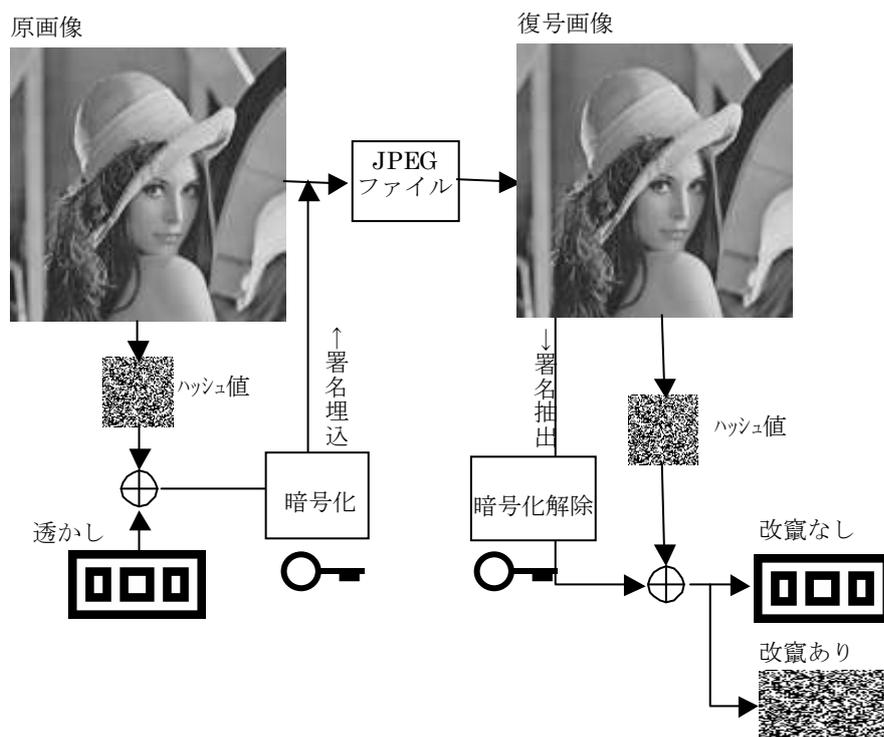


図4-2-3-2 真正性証明用電子透かしの概略

2-1) JPEG画像に対する真正性の定義について

2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時に、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定義する。

この定義によれば2つの画像は生データの段階で全く同一である必要はなき、量子化された段階で同じであればよい。しかし、量子化されたインデックスが1つでも異なれば、2つの画像は異なると見なす。

2-2) 基本アルゴリズム

DCTブロックを128個(横16個×縦8個)まとめ、1つのマクロブロックとして定義する。このマクロブロック単位に画像を分割し、128ビットの署名データの埋め込み/検出処理を行う。透かし検出結果もマクロブロック単位で表示する。図4-2-3-3に、マクロブロック構成を示す。

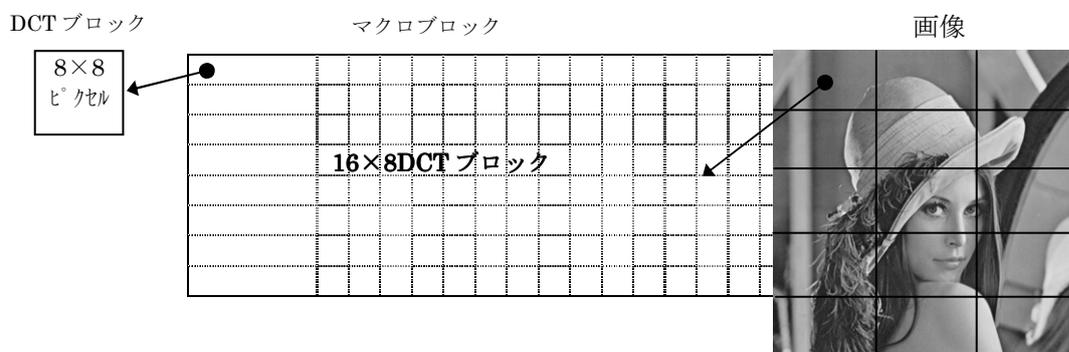


図4-2-3-3 マクロブロック構成

本方式では、署名データを以下のように生成する。

- ① ブロックのDCT係数を量子化した後の、ランレングス構造をブロックの数だけ並

べたものをハッシュ関数によって、128 ビットのハッシュ値に変換する。ただし、各ブロックのランレングスの最後にダミーのランを一つ追加する（ダミーのランは、後に署名データを JPEG のビットストリームの中に埋め込むために用いられる）。

- ② Wong の方法[1]によって、128 ビットのハッシュ値に透かしデータを埋め込み、これを秘密鍵で暗号化して 128 ビットの署名データを得る。

次に、DCT ブロック毎の DCT 係数符号化時に、ジグザグスキャンの最終有効係数の後に生成された署名データ（ランレングス「0」、DCT 係数「±1」）を埋め込む。その際、DCT 係数値は、埋め込みデータが「1」ならば「+1」を、「0」ならば「-1」を設定する。図 4-2-3-4 に DCT ブロックへの署名データ埋め込み例を示す。

	1	5	0	-1	0	0	0	0	0
	-2	-1	0	0	0	0	0	0	0
	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
署名 データ	→	<u>±1</u>	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図4-2-3-4 署名データ埋め込み例

上記の方法で真正性証明用電子透かしが埋め込まれた画像について、量子化後のインデックスが1つでも変わると、それが確実に検出できることは、以下のようにして証明可能である。

もし、ランレングスの構造の中で、署名データ（ランレングスの最後に入れた「+1」か「-1」の値）以外の部分が変わると、ハッシュ値が変化する為、埋め込んだ透かしデータが検出できない。

同様に、もし、署名データが変わると、画像から検出されたハッシュ値と署名データが一致しない為、埋め込んだ透かしデータが検出できない。

以上から、埋め込んだデータが検出可能であるのは、署名データもそれ以外のインデックスも変化していない場合に限られる。

本方式では、以下の制限がある。

- ・埋め込み可能データ量
1つの DCT ブロックに対して1ビットのデータ埋め込みを行う為、画像に埋め込み可能なビット数は、（全画素数 / 64）ビットとなる。
- ・量子化ステップ幅
埋め込んだ署名データが確実に検出できることを保障する為、量子化ステップ幅に以下の制限をもつ。
量子化ステップ幅 ≥ 8

2-3)改竄に対する性能評価

真正性を証明する電子透かしでは、画像（ここでは JPEG 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た。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した。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、悪意のある改竄に対する耐性の観点である。ここで、改竄の目的は、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。このような改竄は、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。この改竄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した。この改竄は透かしの量子化の範囲で修復が可能である。

実験の詳細については、「付録 H-2 真正性透かし実験」の「実験 6：改竄に対する性能評価実験」に示す。

2-4) 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、それが改竄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開発した。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。本手法の原理は、 $[0, 255]$ 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、計算機シミュレーションによってその動作を確認した。詳細については、「付録 H-2 真正性透かし実験」の「電子透かしを保存する JPEG 復号方法の開発」に示す。

3) メタデータ電子透かし

電子透かしは画像に情報を秘匿することができるが、画像データを直接変更するため、画質の劣化を避けることができない。本研究では、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 JPEG 画像用の電子透かしの方法を開発した。

一般に、埋め込んだ信号が鍵によって既知であれば、原理的にはそれを除去することは可能であろう。画像内容に関係なく一定のパターンを多重して、相関によって署名の検出を行う方法（パッチワークなどもこの部類にはいる）では、ユーザーはこのパターンを知ることによって、もとの画像を復元することができる。しかし、信号のダイナミックレンジは有限であるので、透かし信号を原画と完全に独立にすることは困難である。ダイナミックレンジを越える部分はクリッピングなどにより透かし信号を小さくしなければならぬからである。相関が十分有意であるためには、一般に多くの画素を変更しなければならず、クリップが生じる可能性は高くなる。

開発した方式は、量子化された DCT 係数のうち、値が 0 である 1 つの係数を $+\delta$ または $-\delta$ に変更することによって、1 ビットの署名を埋め込む。 δ の値は復号が一意に行えるように、周囲の係数の量子化値から決定される。これを元に戻すには、埋め込んだ位置を知って、その部分を 0 に戻せばよい。この方法では、信号値の変更が少ないので、

クリッピングによる影響を小さくすることができる。ここでは、アルゴリズムの基本概念を例を用いて説明する。また、簡単な埋め込み実験からアルゴリズムが実際に動作することを確認した。本方式は、攻撃に対する耐性がない。そのため、真正性を保った画像に対してのみ有効である。しかし、画像にテキスト情報を埋め込み、それを真正性透かしで封印後に伝送し、真正性とテキスト情報を確認した後、透かしを消してしまうなどの利用法が考えられる。たとえば、メタデータ透かしを 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を埋め込めば、400字詰め原稿一枚分(6400ビット)程度のテキストの埋め込みが可能である。

3-1) 基本方式

メタデータ透かし埋め込みの基本的な考え方は、DCT係数を量子化した後、ジグザグスキャンによって操作した信号系列から、値が0の係数を $\pm \delta$ に変更するというものである。その符号によって1ビットの情報を埋め込む(0ならば $-\delta$ 、1ならば $+\delta$ などとする)。この係数の位置は鍵によって決められる。

例えば、10個の係数からなる次のような系列が得られているとする。

1 5、0、0、-1、0、0、0、0、-2、1

この10個の中に0は6個ある。乱数によって、その中の4番目の0が、埋め込み位置として選ばれたとする。埋め込むビット値が1ならば、その0を1に置き換えることによって、次の変更された係数系列を得る。

1 5、0、0、-1、0、1、0、0、-2、1

復号器は埋め込んだ位置が4であることを知っている。そこで、この係数系列の3番目と4番目の0の位置を求めると、それは、原信号では、3番目と5番目の0である。以下に、この0を()で囲んで示す。

1 5、0、0、-1、(0)、1、(0)、-2、1

この()で囲まれた0の間の1は透かし信号であるから、復号器はビット=1を知ることができる。また、この係数の値を0に戻せば、もとの係数系列が得られる。すなわち、埋め込んだ透かしを消去することが可能である。

上の例では、4番目の0の前後の係数も0であった。しかし、そうでない場合には、0を ± 1 に置き換えただけでは、検出側で透かしの位置を特定することができない。たとえば、上の係数系列で3番目の0を1に変えることによってビット値1を埋め込んでみる。このとき、次の係数系列が得られる。

1 5、0、0、-1、1、0、0、0、-2、1

検出側で、2番目の3番目の0は次の()の位置にある。

1 5、0、(0)、-1、1、(0)、0、0、-2、1

この()で囲まれた2つの係数のうち、どちらかに透かしが埋め込まれたことはわかるが、その一つを特定することができない。そこで、埋め込み位置の前後にある零でない係数の中で絶対値の最も大きいものを選び、その絶対値+1に符号をつけた数で埋め込み位置の係数を置き換えるという操作によって、透かしを埋め込むことにする。上の例では、2を埋め込む。このとき、受信した信号系列

1 5、0、(0)、-1、2、(0)、0、0、-2、1

の()ではさまれた係数の中で絶対値の最も大きいもの(この場合は2)を探すこと

によって、透かしの位置を特定することができる。

3-2) 埋め込みアルゴリズム

以上を一般的に述べると、次の埋め込みのアルゴリズムが得られる。

- 【ステップ1】 Nブロックの画像データを DCT 変換し、それを量子化して、ジグザグスキャンする。この N 個の係数系列をつないで、1つの係数系列 X を生成する。系列 X の零の数を Z (X) で表す。また、X の n 番目の値を X (n) で表す。
- 【ステップ2】 $i \leftarrow 0$ とする。
- 【ステップ3】 $i > M$ ならば終了。M は埋め込みビット数である。そうでなければ、ステップ4へいく。
- 【ステップ4】 整数の乱数 r を発生し、この値から次式の p を求める。
$$p = r \bmod Z(X) + 1$$
次に、X の p 番目の 0 を探し、それが X 全体に占める位置 q を求める。
 $X(q) = 0$ である。 $j \leftarrow 1$ 、 $m \leftarrow 0$ とする。
- 【ステップ5】 もし、 $|X(q-j)| = 0$ ならば $j \leftarrow 1$ としてステップ7へ。そうでなくて、もし $|X(q-j)| > m$ ならば、 $m \leftarrow |X(q-j)|$ とする。
- 【ステップ6】 $j \leftarrow j + 1$ として、ステップ5へ戻る。
- 【ステップ7】 もし、 $|X(q+j)| = 0$ ならばステップ9へ。そうでなくて、もし $|X(q+j)| > m$ ならば、 $m \leftarrow |X(q+j)|$ とする。
- 【ステップ8】 $j \leftarrow j + 1$ として、ステップ7へ。
- 【ステップ9】 埋め込みビットの値が 0 のときは、 $X(q) \leftarrow m + 1$ 、それが 1 のときは、 $X(q) \leftarrow -(m + 1)$ とする。 $i \leftarrow i + 1$ として、ステップ3へ戻る。

ステップ4では、埋め込み位置が鍵に基づいて求められる。ステップ5~8では、この位置の近辺の係数絶対値の最大値 m が求められ、ステップ9では、埋め込み位置の 0 を $m + 1$ または、 $-(m + 1)$ に置き換えることによって、透かしの埋め込みを行う。

3-3) 検出アルゴリズム

これに対応する検出のアルゴリズムは以下のようになる。

- 【ステップ1】 Nブロックの画像データを DCT 変換し、それを量子化して、ジグザグスキャンする。この N 個の係数系列をつないで、1つの係数系列 X を生成する。整数の乱数 $r(i)$ ($i = 1, \dots, M$) を発生する。この乱数は、埋め込みに用いたものと同じでなければならない。
- 【ステップ2】 $i \leftarrow M$ とする。
- 【ステップ3】 $i < 1$ ならば終了。そうでなければ、ステップ4へいく。
- 【ステップ4】 i 番目の乱数 $r(i)$ の値から次式の p を求める。
$$p = r(i) \bmod Z(X) + 1$$
次に、X の p-1 番目の 0 と p 番目の 0 を探し、それが X 全体に占める位置 q_1 、 q_2 を求める。
- 【ステップ5】 $X(q_1)$ と $X(q_2)$ にはさまれた部分の係数系列から、絶対値の最も大きい $X(q)$ を求め、これが正なら 1、負なら 0 を復号する。

$X(q) \leftarrow 0, i \leftarrow i + 1$ として、ステップ3へ戻る。

3-4) 画質の劣化を軽減する工夫

上記のアルゴリズムでは、 X はすべてのDCT係数を含んでいる。しかし、透かし信号は、隣接する量子化値の中で絶対値が最大となるように決められるので、もともとの量子化値の絶対値が大きいと、透かし信号も大きな値を入れなければならない場合が生じやすい。これによって、必要以上に画質に妨害を与える可能性がある。これを防ぐためには、DCTの低域成分は最初から X に含めないようにすればよい。例えば、各DCTブロックに対して、そのスキャン長（ジグザグスキャンにおけるDC成分から最後の非零係数までの長さ）の $1/2$ までの低域係数は、 X から省くなどの手法が考えられる。

3-5) 符号量の増加

JPEGでは、量子化してジグザグスキャンしたDCT係数をランレングス符号化しているから、透かしの挿入による符号量の増加はランレングス符号の増加量に等しい。 m 個の0が続いた後値 n が生じるイベント (m, n) の p 番目の0に値 q を透かしとして埋め込む場合、このイベントは $(p-1, q)$ と $(m-1, n)$ の2つのイベントに分割される。したがって、その符号量の増加は

$$L(p-1, q) + L(m-1, n) - L(m, n) \text{ (ビット)}$$

である。

表4-2-3-2 (n, ±1)のための符号長

ラン	符号長
0	2+1=3
1	4+1=5
2	5+1=6
3	6+1=7
4	6+1=7
5	7+1=8
6	7+1=8
7	8+1=9

表4-2-3-2はJPEGのランレングス符号の符号長で値が±1の場合を抜粋したものである。例えば、 $(4, 1)$ を $(1, 1)$ と $(2, 1)$ に分けると、その符号長は

$$5 + 6 - 7 = 4$$

ビット増加する。

一般に、透かし1ビットの挿入によって、JPEGストリームの符号量は1ビット以上増加するケースが多いであろう。したがって、単に画像にデータを付加するのならば、ヘッダなど画像データと別の部分にデータを書き込むほうが有利である。しかし、電子透かしを画像データに埋め込むことによって、画像と情報が確実にバインドされるという機能的な付加価値を与えることができる。この情報は、意図的にそれを消さない限り、画像が復号された後も消えることがない（このためには、一定の条件を満たす必要がある）。また、この符号量の増加はもとのJPEG画像の符号量からみればわずかであるケースが多い。例えば、 2048×2048 の高精細画像に400字のテキスト（800バイト）を入れる場合を考える（およそ10個のDCTブロックに1ビットの割合）。もとの画像のサイズは $2048 \times 2048 \times 3 = 12.6$ MBである。これをJPEGで10分の1に

圧縮するとそのサイズは1.26MBになる。一方、テキストデータを埋め込むに当たって、1バイトあたり3ビットの符号量の増加があるとすると、その増加量の総和は、 $3 \times 800 = 2.4$ kバイトとなる。これは圧縮された画像サイズの0.2%でしかない。

上記方式の計算機シミュレーションを行った。詳細については、「付録H-3 メタ透かし実験」の「実験1：計算機シミュレーション」に示す。

3-6) 性能評価

電子透かしを埋め込むことによって生じる、符号量の増加と画質の劣化について、実際の画像を用いた評価を行った。2000×2000画素程度の静止画像に1024バイトのバイナリデータを埋め込んだ場合、符号量の増加は4000～5000バイトであった。この値は、量子化の粗さにあまり依存しない。また、画像の平坦な部分や急峻なエッジの部分などに妨害がしやすいことを確認した。明示的な画像適応処理を施すことによって、画質の改善は可能と考えられる。なお、1024バイトはおよそ、日本語の原稿用紙(400字詰め)1枚分である。詳細については、「付録H-3 メタ透かし実験」の「実験2：鍵による着脱可能な電子透かしの性能評価」に示す。

3-7) まとめ

電子透かしを、量子化したDCT系列の途中に埋め込む方法を提案した。この方法では、値が0となる係数だけを変更して情報の秘匿を行っているので、鍵を知ることによって、それを完全に消し去ることが可能である。鍵を知らなければ、その位置を特定することは難しい。

4) 画質劣化用電子透かし

デジタル超高解像度画像の価値は非常に高く、デジタル化されたコンテンツはその品質を落とさずに不正なコピーや配布を容易に行えることから、不正流通に対する保護が必須である。情報セキュリティ技術の1つに暗号化技術があげられるが、一般に暗号化処理後のデータは画像として閲覧できない。また、復号後の画像データは不正コピーに対して無防備となる。一方、高価な超高精細画像購入時には、画像閲覧の上で購入画像を選択したいという要求が当然生じる。そのため、デジタル超高解像度画像の配信システムでは、セキュリティを確保しつつサムネイル相当の品質で閲覧可能とする2つの条件を満たす必要がある。

購入希望者は、暗号化データを復号して画像選択用の低品質画像を閲覧できれば、購入画像の選択が可能になる。この条件を満たすため、メタデータ透かしを利用した画像劣化用透かしで画像劣化させ、さらに暗号化してユーザーに配信することを考える。超高解像度画像購入のためには、画像劣化用透かし除去用の鍵を購入すれば超高精細画像を復元できる。

4-1) 基本方式

メタデータ電子透かしを利用して、画質劣化用透かしを実現した。

メタデータ電子透かしでは、量子化されたDCT係数のうち、値が0である1つの係数を $+\delta$ または $-\delta$ に変更することによって、1ビットの署名を埋め込む(上記「4)メタデータ電子透かし」参照)。このとき、 δ の大きさを大きくすることだけでも画質は劣化するが、この方法では操作した係数によって特定のDCTパターンが浮き出してしまうため、画質劣化用電子透かしの除去が容易になる(図4-2-3-5)。

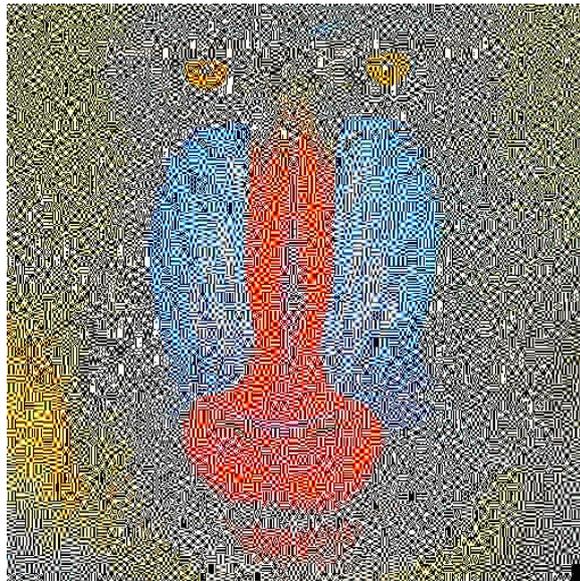


図4-2-3-5 $\delta=100$ としたときのメタデータ電子透かし埋め込み結果(Baboon)

そこで、メタデータ電子透かしにより同一の情報を複数回埋め込むことを考える。すなわち、メタデータ電子透かしを埋め込んだ画像に対し、メタデータ電子透かしを使って同じ情報を再度埋め込む。メタデータ電子透かしの原理から、2回目の埋め込み時に操作される DCT 係数は1回目の係数とは必ず異なるので、浮き出る DCT パターンは2つの係数の組み合わせパターンとなる。

埋め込み強度と埋め込み回数を変化させたときの画像を「付録H-4 画質劣化用電子透かし適用画像」に示す。

4-2) まとめ

メタデータ電子透かしを利用して、画質劣化用透かしを開発した。メタデータ電子透かしの埋め込み回数を n 回とすれば、浮き出る DCT パターンは n 個の係数の組み合わせパターンになるので、埋め込み回数を多くすることにより画質劣化用電子透かしの除去困難性向上が期待できる。このように生成したメタデータ電子透かし埋め込み画像は、埋め込み強度と埋め込み回数を適当に制御することによってサムネイル相当の品質で閲覧可能になるとともに、画像とは別の情報を埋め込むことが可能である。

5) 可視電子透かし

画像データの真正性を証明するための電子署名のアプリケーションを開発した。従来、デジタルデータの署名では、データのハッシュ値を暗号化した認証子を計算し、これをデータに付与する方法が一般的である。認証子は、データが画像ファイルの場合には、ヘッダの部分などに書き込んでおけばよい。また、特に画像との一体性が必要とされる場合には、「見えない」電子透かしによって画像データの中に書き込んでおく方法も提案されている。しかし、いずれの場合も、それが証明のために封印された画像であることが、明示的に示されなかった。そのため、ユーザーは、自身でそれを管理するか、または、認証のチェックを行って、認証子の存在を確認するなどしなければならない。本報告では、画像に「可視的な」マークを重畳することによって、明示的に画像を封印する手法を示す。ユーザーはこのマークを見て、封印の存在を確認することができる。このマークは、例えば、印章や紋章などの任意のビットマップであるが、その中に、「見えない」電子透かしによって、ホスト画像の認証子が埋め込まれている。画像の認証は、マークに埋め込まれたこの認証子に基づいて行われる。このマークは、不要になった時点で除去し、その部分の画像信号を完全に復元することができる。

5-1) 基本方式

画像データの N 個のベクトル $x_i (i=0, \dots, N-1)$ と可視透かしとして埋め込むマークの M 個のベクトル $y_j (j=0, \dots, M-1)$ が与えられている。このとき、画像データの M 個のベクトルに y_j と画像データの認証子を重畳し、その結果を JPEG の符号化データとして出力することを考える。ただし、 $M \leq N$ とする。以下、説明の簡単のため、マークする M 個のベクトルを $x_j (i=k, \dots, k+M-1)$ とする。

まず、ベクトル x_i と y_j を DCT し、その結果を量子化して、量子化インデックスのベクトルを得る。DCT の演算子を T 、量子化の演算子を Q とすれば、これらのベクトルは、それぞれ QTx_j 、 QTy_j と表される。マークの埋め込みは、単純に、対応するベクトルを加算することによって行う。したがって、マークされたベクトルは、 $QTx_j + QTy_j$ と書ける。次に、画像データの全てのベクトル $QTx_i (i=0, \dots, N-1)$ から [1] の方法によって認証子を計算する¹。この認証子を、真正性証明電子透かしの方法によって、 $QTx_j + QTy_j$ に埋め込む。このときの埋め込みパターンを W_j とすれば、認証子が埋め込まれたベクトルは、

$$Z_j = QTx_j + QTy_j + W_j \quad (1)$$

と書くことができる。この Z_j を JPEG の可変長符号によって符号化する。

5-2) 可視電子透かしの例

512×512 画素の画像 Lena に、図 4-2-3-6 に示す 128×128 画素の紋章を埋め込んだ。このマークは、白い部分が+16、黒い部分が-16 の二値画像である。認証子は、画像全体から 256 ビットを計算し、これを、紋章の領域に埋め込んだ。ここで、ベクトルのサイズは DCT に対応して 8×8 である。紋章の領域にはちょうど 256 個のベクトルがあるから、電子透かしは各ベクトルに 1 ビットの割合で埋め込まれることになる。一つの認証子のサイズを 128 ビットとすれば、この埋め込みによって、画像の二つの領域（例えば、中心と周辺など）の認証が可能である。

図 4-2-3-7 に透かしを埋め込んだ画像を示す。図は、量子化の粗さを変えたものを三つ表示した。量子化ステップサイズは、左から、 $Q/4$ 、 $Q/2$ 、 Q である。ただし、 Q は [2] に与えられる量子化テーブルである。これらのパラメータで符号化した JPEG ファイルのサイズを表 4-2-3-6-1 に示す。



図4-2-3-6 埋め込む紋章

¹ 全てのベクトルを分割して複数の認証子を求めてもよい。



図4-2-3-7 封印された画像(左からQ/4、Q/2、Q)

表4-2-3-3 符号化後のファイルサイズ(単位:バイト)

量子化	Q/4	Q/2	Q
透かしなし	56,321	38,180	26,125
透かしあり	56,423	38,260	26,230

量子化が粗い場合には、電子透かしによる劣化が見えることがある。これは、電子透かしのビット数を減らすことによって改善可能である。128 ビットの認証子一つだけとすれば、電子透かしの密度を 1/2 にすることができる。

また、マークのサイズを大きくすれば、より多くの情報を埋め込むことができる。ホスト画像のサイズが大きければ、それに応じてマークを大きくしても不自然ではない。画像のサイズに応じて、認証能力を適応させるのは自然な考え方である。

JPEG ファイルのサイズの増加は 100 バイト程度であり、ファイルサイズの 0.5%以下である。この増加分は、マークの埋め込みと認証子の埋め込みの両方に消費された符号である。

5-3) まとめ

可視的なマークを埋め込むことによって、それが封印された画像であることを明示的に示す電子署名の方法を提案した。従来、電子透かしは、見えないことが逆にユーザーの不安の原因となったり、画像を劣化させることが問題とされたりした。提案した方法によれば、透かしの埋め込みが明らかなので、不安を与えることは少ない。また、マークされた以外の部分に電子透かしが埋め込まれてないので、画像の劣化の心配も少ない。マークは不要になれば、完全に除去することができる。

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」、信学総合大会、March、2003.
- [2] G. K. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 38, no. 1, pp. 18-34, Feb., 1992.

らの検索等の要求を受け付けることができ、一方ではコンテンツの管理や他のサーバが受けた検索要求に協調して自サーバが管理しているコンテンツの検索を行うこととなる。このように、本コンテンツ適応型ブラウザシステムでは、クライアントからの要求の処理およびコンテンツの検索や管理を各サーバで分散処理する方式を採用した。つまり、図 4-3-1-1 はクライアントからサーバ A に対して検索要求があった場合の処理動作を示したものであるが、他のサーバもサーバ A 同様、クライアントからの検索要求を受け付けることができるシステム構成になっている。仮にサーバ B に対して検索要求があった場合、サーバ B が図 4-3-2-1 においてサーバ A に対して示した処理を実施し、サーバ A はサーバ B に対して示した処理を実施することになる。

コンテンツの管理および検索等の処理を一極集中型で実現した場合、多数のクライアントからの要求の集中や、管理コンテンツ数増加に伴う処理時間の増大によるレスポンス低下を招く危険がある。それに対し、どのサーバも機能的に均質なものとすることによって、処理の一極集中を回避するとともに、管理コンテンツの分散による検索負荷の低減を図り、レスポンスの低下を防ぐことが可能になる。さらに、連携可能なサーバをサーバごとに規定することによって、連携対象外のサーバ（図 4-3-1-1 において、サーバ D はサーバ A とは連携対象外のサーバ）でコンテンツ登録などの高負荷な処理を実行していたとしても、自分自身が受け付けたクライアントからの処理要求に対しては影響を受けない仕組みを実現した。

ただし、本システム構成では、クライアントからの 1 つの要求を処理するために複数のサーバが関与することになるので、サーバ間通信にかかる時間が一極集中型のシステム構成と比較すると余計に発生することとなる。しかし、サーバ間を大容量ネットワーク接続で通信することによって、各サーバにて行われる処理の速度が低下しにくい仕組みを実現することの有効性はサーバ間通信にて発生するオーバーヘッドに勝ると想定され、本構成を採用することとした。

2) システム構成

コンテンツ適応型ブラウザシステムは、以下のプログラムから構成される。

類似画像検索プログラム：	ユーザが所望する画像の検索を実行
メタデータ管理プログラム：	超高精細画像に付与する各種メタデータの管理
コンテンツ暗号化プログラム：	超高精細画像データの暗号化
暗号化コンテンツ処理プログラム：	暗号化された超高精細画像の復号(平文化)、 閲覧のナビゲーション

これらのうち、類似画像検索プログラム、およびメタデータ管理プログラムは PHP もしくは C++にて記述されたサーバ側のプログラムであり、コンテンツ暗号化プログラムおよび暗号化コンテンツ処理プログラムは C++で記述されたクライアント側のプログラムである。また、画像の詳細表示、拡大・縮小等は、ブラウザ上のプラグインとして動作するプログラムを用いた。

図 4-3-1-2 に、コンテンツ適応型ブラウザプログラムシステムのプログラム構成を示す。

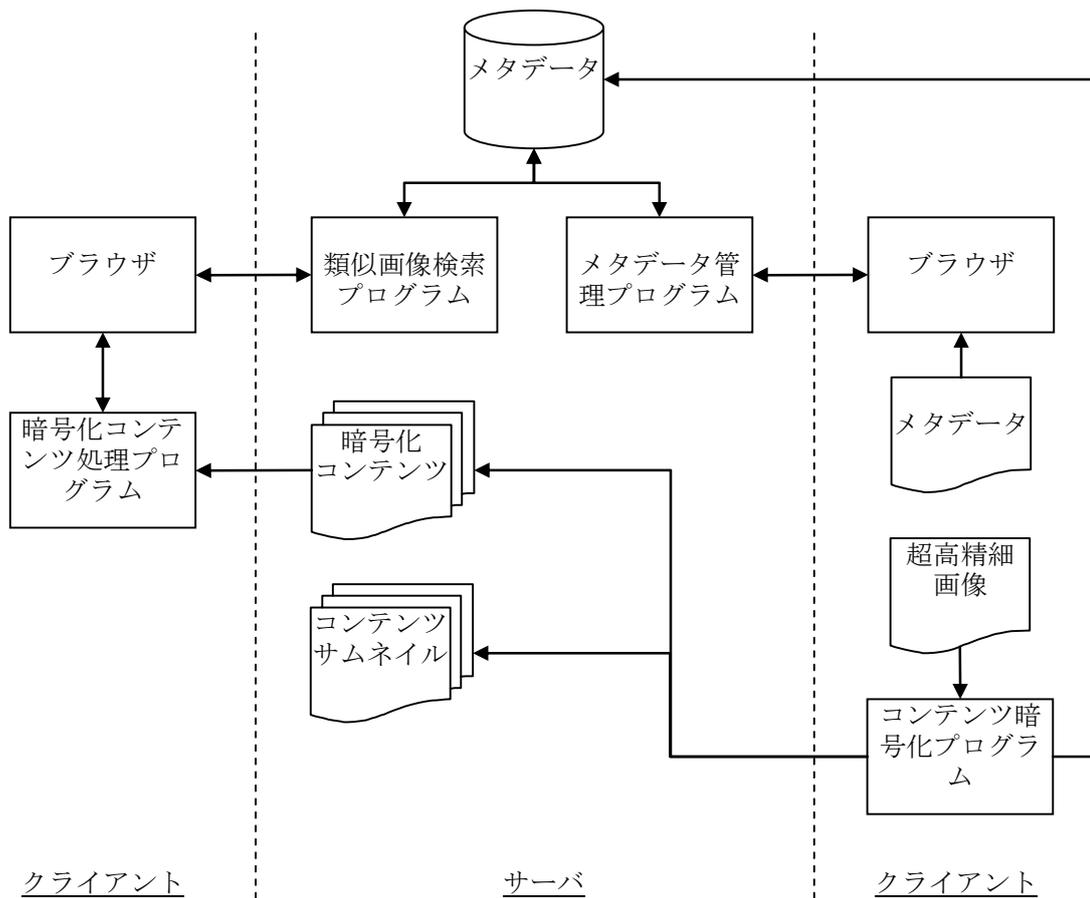


図4-3-1-2 プログラム構成

システムを構成する個々のプログラムの処理内容については、付録 I-1 に示す。

3) 画像検索方法

コンテンツ適応型ブラウザのトップ画面である、画像検索メニュー画面を図 4-3-1-3 に示す。

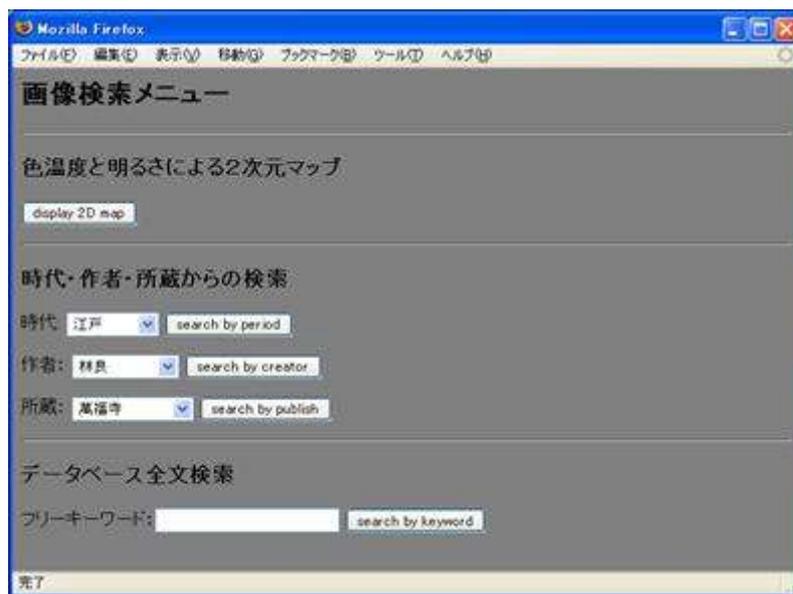


図4-3-1-3 画像検索メニュー画面

画像検索メニュー画面からは、

- 2次元マップでのサムネイル表示
- 時代や作者、所属等からの検索
- フリーキーワードによる検索

の3種類の画像検索方法が選択できるようにした。

3-1) 2次元マップ表示による検索

2次元マップによるサムネイルの表示は、本システムで新たに導入した検索方法であり、一般的に行われている書誌情報などのテキスト情報による検索ではなく、画像が持つ特徴を使い感性情報に基づいた検索を実現するための一つの方法である。

図4-3-1-4は横軸に色温度（相対色温度）、縦軸にHSV色空間の明度（Brightness）をとった場合の2次元マップ表示例である。色温度は青紫光と赤色光の相対的な強さを示す数値であり、色温度が高いほど青みがかかり、低いほど赤みがかかる。この数値と人間の視感覚とが比較的合致することが知られており、明るく温かいや暗く冷たいなどと感じられる画像を一目で選択することができる。

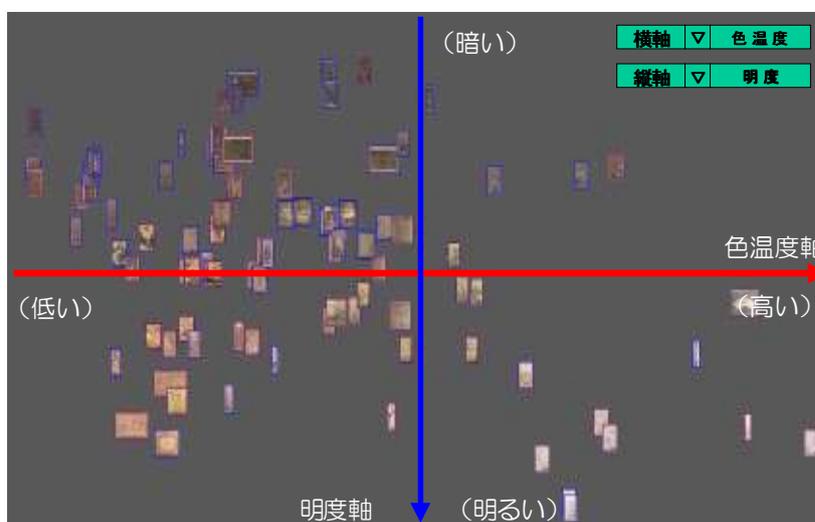


図4-3-1-4 2次元マップによるサムネイル表示(横軸:色温度、縦軸:明度)

また、2次元マップ表示では横軸や縦軸の成分を変更することができるようになっており、様々な目的によって使い分けることができる。図4-3-1-5は、横軸に色温度、縦軸にHSV色空間の色相（hue）を取ったときの2次元マップ表示例である。

2次元マップ表示の問題点として類似の画像特徴量を持つ画像が複数あった場合、それらが重なりあったり、非常に密集して表示されることになる。この際の解決策として、サムネイル表示が密集している領域（矩形）を選択し、その領域を拡大してサムネイルが重ならないように表示できる機能も実現した。詳細は付録I-2に示す。

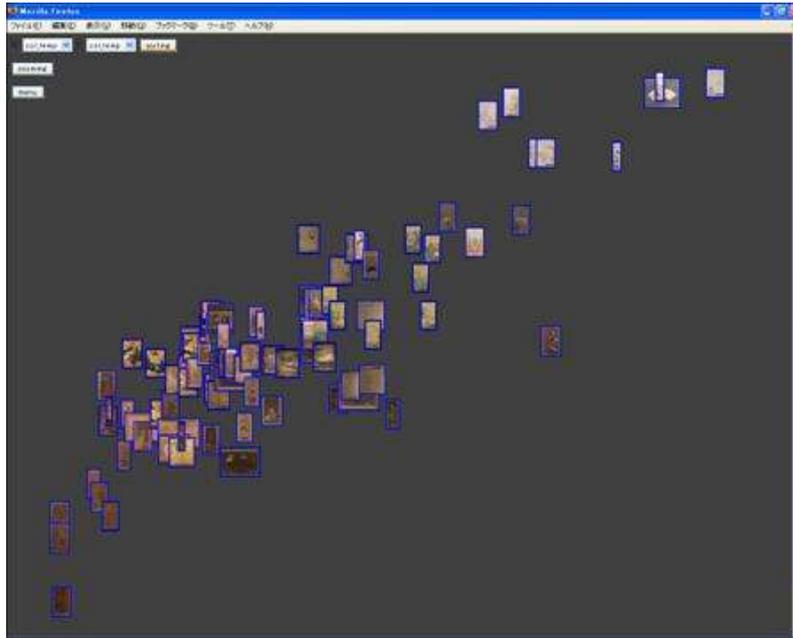


図4-3-1-5 2次元マップによるサムネイル表示(横軸:色温度、縦軸:HSV_Hue)

2次元マップ上のサムネイル画像にマウスを移動してフォーカスすると、そのサムネイル画像が少し拡大して表示される機能も実装した。本機能は、2次元マップ上に表示されたサムネイル群の中から、ユーザが詳細表示を行う画像を選択する際の手助けとなる。マウスのフォーカスによりサムネイルが拡大表示された状態を、図4-3-1-6に示す。



図4-3-1-6 サムネイルの拡大表示

3-2) 書誌情報による検索

時代、作者、および所蔵の書誌情報の検索条件をプルダウンメニューから選択し、検索を実行する。例えば、「南北朝」時代を条件として検索した結果を図4-3-1-7に示す。



図4-3-1-7 時代で「南北朝」を指定して検索を行なった場合の結果画面

3-3) フリーキーワードによる検索

テキストエリアにフリーキーワードを入力し、書誌情報に含まれるテキストの中から一致するものの検索を実行する。フリーキーワード検索では、データベースに登録されている全てのテキストデータとの照合を行い、一部でも含まれるものがあれば検索結果としてリストアップする。例えば、「後期」をキーワードとして検索した結果を図4-3-1-8に示す。



図4-3-1-8 フリーキーワード“後期”を指定して検索を行なった場合の結果画面

また、条件検索やフリーキーワード検索を行った検索結果を2次元マップ表示することも可能であり、条件を絞り込んでから感性情報に基づいた検索を行うことも実現した。

4) 検索画像表示画面

3) の結果、検索された画像を選択すると、図4-3-1-9に示すような画像の詳細情報が表示される。



図4-3-1-9 画像詳細表示画面の初期表示状態

但し、この時点ではサムネイルを拡大表示した程度の解像度の画像であり、元の解像度（数千×数千画素）の原画を表示するためには原画コンテンツの暗号を解く復号キーの入力が求められる。



図4-3-1-10 復号キー入力ダイアログボックス

正しい復号キーの入力がなされると、暗号化されたコンテンツデータの平文化が行われ、図4-3-1-11に示すように原画像が表示される。

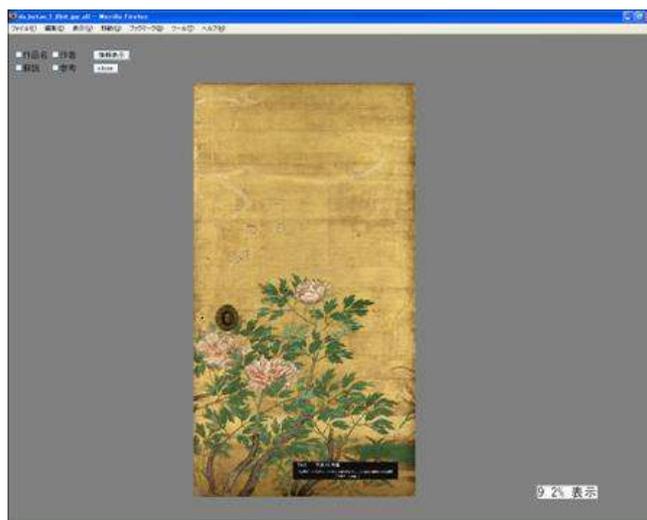


図4-3-1-11 原画像表示の初期状態

原画像は数千×数千画素という非常に高い解像度を持つため、表示装置が持つ限られた表示解像度領域に表示するためには拡大や縮小表示の機能が必須である。本開発ではブラウザのプラグインを用いることで表示位置の移動や自由な拡大・縮小をマウス操作で高速に処理できるようにした。

また、書誌情報の表示のオン・オフ制御や表示されている画像に関連するリンク情報（例えば所蔵寺院のURLなど）が埋め込まれており、関連するサイト情報の表示などができるようになっている。

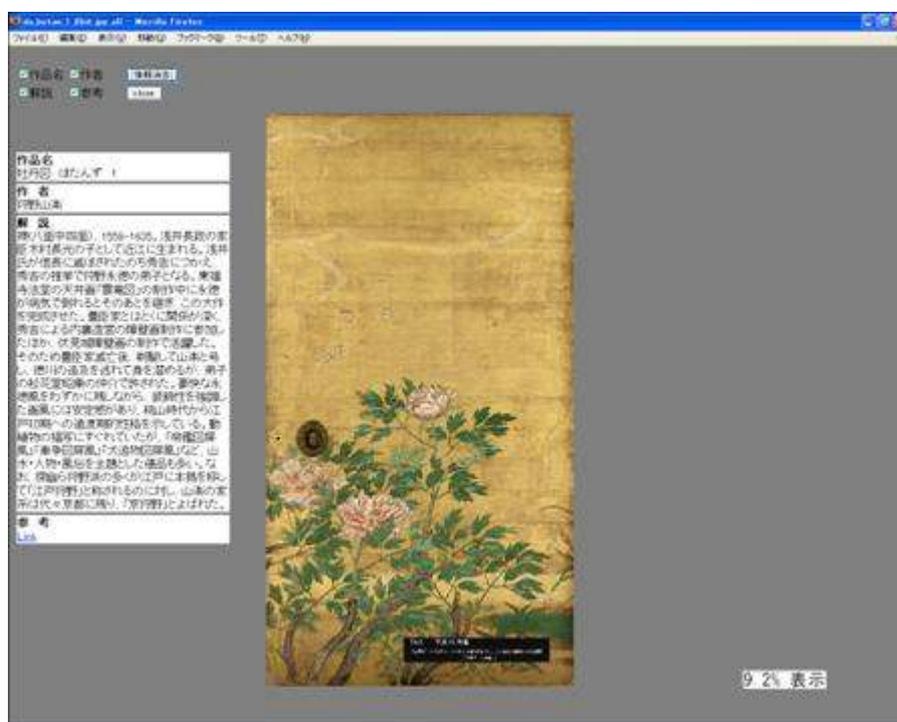


図4-3-1-12 書誌情報(作品名、作者、解説、参考)を表示した状態

5) まとめ

大量の高精細コンテンツを処理可能とする、コンテンツ適応型ブラウザシステムを構築した。複数のサーバが高速ネットワーク上で協調動作する構成を採用することで、大量のデータを扱う際のシステム全体のスループット低下を回避することが可能となる。

クライアントの検索画面には、色温度の特徴量をはじめとする2次元マップ表示を採用し、多数のコンテンツからの効率のよい検索を可能とした。また、画像の拡大・縮小、移動など、基本的な画像ブラウズ動作は、高速動作を実現するブラウザのプラグインを用いることで快適な操作性を実現した。また、開発したコンテンツ適応型ブラウザを、実証実験で使用し、利用者からの意見などを参考に改良を行うことができた。

4-3-2 コンテンツ主導型ナビゲーション

1) はじめに

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う場合には、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が消失し、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った。

2) コンテンツ ID の基本フォーマット

コンテンツを特定するためのフォーマットとして、コンテンツ ID フォーラム (cIDf) で多く議論されている[1]。cIDf では、コンテンツ ID のフォーマットを図 4-3-2-1 のように定めている。コンテンツ ID はプレフィックスとサフィックスからなり、バージョン番号、タイプ、グループ番号、センタ番号、センタ内番号から構成されている。

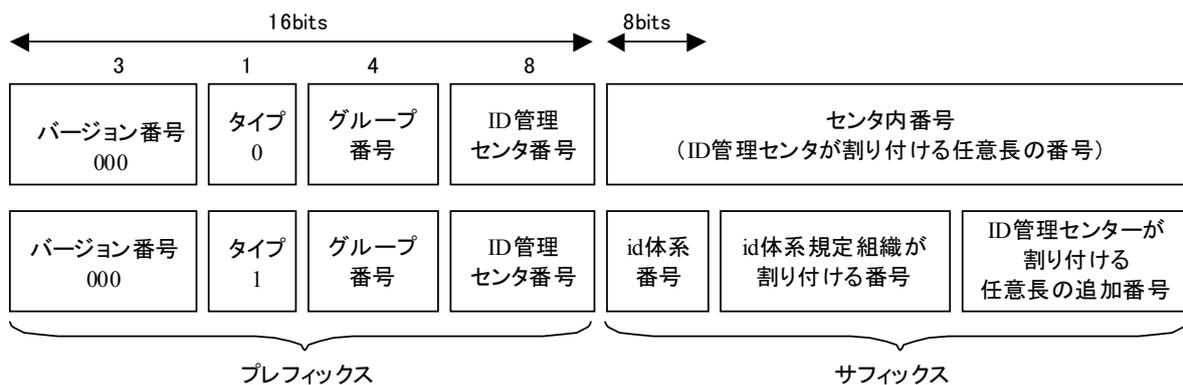


図4-3-2-1 cIDf によるコンテンツ ID のフォーマット

① バージョン番号 (ビット長 3bit)

「バージョン番号」はコンテンツ ID の形式を特定するもので、後述のタイプ、グループ番号、ID 管理センタ番号の各ビット長は、この「バージョン番号」によって決定される。

② タイプ (ビット長 1bit)

「タイプ」は、各バージョンにおけるコンテンツ ID の種別を規定するものであり、センタ内番号のサブフィールドなどは、この「タイプ」の値により規定される。

③ グループ番号 (ビット長 4bit)

「グループ番号」は、特定の基準に従って ID 管理センター (コンテンツ ID の発行機関) のグループを設定し、そのグループごとに番号を割り当てるためのものである。

④ ID 管理センタ番号 (ビット長 8bit)

「ID 管理センタ番号」は、各グループの登録機関 (RA : Registration Authority) が発行し、ID 管理センタを識別する番号である。

⑤ センタ内番号 (ビット長任意)

「センタ内番号」は、ID 管理センタが管理するコンテンツを識別する番号であり、ID 管理センタが任意に割り付けることができる。

3) コンテンツ主導型ナビゲーションのためのコンテンツ ID フォーマット

ここでは、cIDf によって定められた「タイプ 0」のコンテンツ ID のフォーマットを利用し、任意に割付可能な「センタ内番号」を定義することによってコンテンツ主導型ナビゲーションのためのコンテンツ ID フォーマットを定める。

コンテンツ ID は著作権用透かしを使って画像に埋め込む。著作権用透かしの埋め込み・検出性能は、本研究における著作権透かしに関する最終目標から、「解像度 4,000 (縦) × 4,000 (横) の静止画像に対して 256 ビット埋め込み可能」であるが、コンテンツ主導型ナビゲーションの対象となる画像の解像度は様々であり、解像度が低くなれば埋め込み可能なビット数も減少する。そこで、「センタ内番号」の最初の 1 バイトを「センタ内番号」のバイト長を記すために用いる。この規則に従った上で、コンテンツ ID を定めることにする。

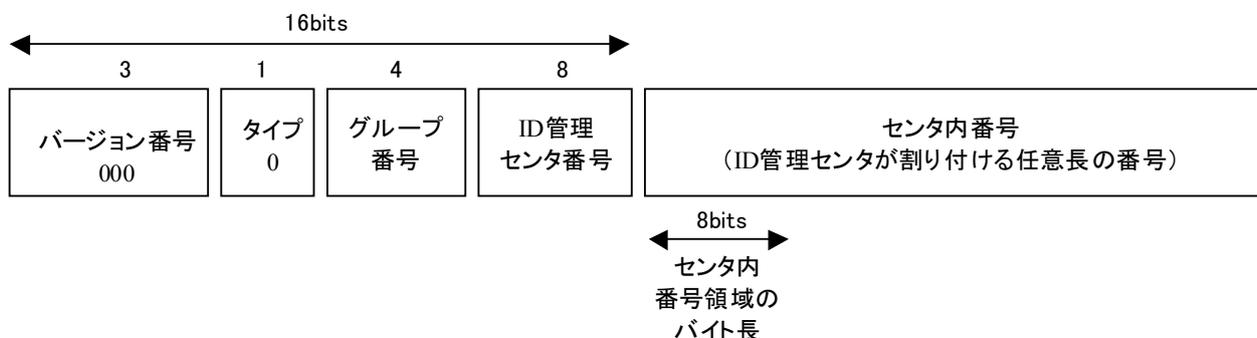


図4-3-2-2 センタ内番号領域へのバイト長記述

4) コンテンツ主導型ナビゲーション

コンテンツ主導型ナビゲーションは、コンテンツに埋め込まれた 2 種類の透かし情報を利用した方法により実現した。

第一の方法は、上記のコンテンツ ID を利用した方法である。コンテンツ主導型ナビゲーションを利用するユーザ（以下、ユーザと呼ぶ）は、対象コンテンツからコンテンツ ID を抽出し、このコンテンツ ID とクエリーをインデクスサーバに送信する（ここでは、クエリーを著作権に関する情報の送信要求として説明する）。インデクスサーバは、コンテンツ ID に関連付けられた情報を探し、著作権に関する情報を抽出し、ユーザに返信する。上記のフォーマットに従ってコンテンツ ID を電子透かしとして埋め込むことにより、ユーザはコンテンツ ID とクエリーとの組み合わせによるコンテンツ主導型ナビゲーションを通じて URL 以外の情報にも柔軟にアクセスが可能になる。

第二の方法は、課題イで開発したメタデータ情報埋め込み電子透かしを利用したコンテンツ主導型ナビゲーションである。メタデータ情報埋め込み電子透かしでは、解像度 4,000 (縦) × 4,000 (横) の静止画像に対して 400 字詰原稿二枚分程度のテキストの埋め込みが可能である。前述のコンテンツ ID を利用した方法では、対象コンテンツに関する詳細な情報を得られる代わりに、情報を得るためにインデクスサーバにアクセスする必要がある。しかし、すべての人が毎回詳細な情報を必要としているわけではないため、コンテンツ ID を利用した方法だけでは非効率になる。

そこで、メタ情報埋め込み電子透かしで埋め込む情報を原則としてすべてテキストベースとし、URL の抽出など、追加機能についてはユーザ側のアプリケーションで対応することにした。追加機能を有するユーザ側アプリケーションでは、埋め込まれた URL 情報から Web ページに直接アクセス可能になる一方、追加機能を持たないユーザ側アプリケーションでもテキストとして情報を閲覧できるので、別途 Web ブラウザを利用することによって URL 情報にアクセス可能となる。



図4-3-2-3 メタ情報埋め込み電子透かしを利用したコンテンツ主導型ナビゲーション

5) まとめ

電子透かしをキーとした付加情報へのアクセス方法をより柔軟にするために、cIdf によって定められたコンテンツ ID のフォーマットを元に、電子透かしとして埋め込まれるコンテンツ主導型のナビゲーションのフォーマットを定義した。また、定義したフォーマットに従って電子透かしを埋め込むことで、URL 以外の情報にも柔軟にアクセスすることが可能になる。

参考文献

- [1] 安田浩，安原隆一監修，“コンテンツ流通教科書”，株式会社アスキー，2003.

4-4 【課題 エ】実証実験

4-4-1 海外との接続実験

1) 実証実験の概要

本研究プロジェクトで検証した個々の技術を組み込んで、分散システムを構築し、コンテンツ生成、データの蓄積・配信、検索・ブラウジング機能を1つのフローとして検証を行った。また、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った。

超高精細画像データは、デジタルコンテンツ流通におけるマスターデータと位置付けられる。この超高精細でかつ再利用性にも優れたデジタルコンテンツを、インターネット等の広域ネットワークを通じて流通させるには、提供サイトでユーザ認証機能を設けたり、利用者に応じて参照権限を抑制したりすることで著作物を保護する DRM (Digital Rights Management) システムが必要となる。

この DRM システムには、通常、デジタルコンテンツ・利用者情報・利用制限情報等が登録され、その管理には多くの手間を要する。また運用上、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と言える。

そこで、本実験プロジェクトでは、複数のサイトが共同して運用できる分散環境著作権管理システムの検討ならびに設計開発からシステムの運用を行い、その有効性を検証した。

実験は、ヨーロッパで進行中のオープンヘリテージプロジェクトと、実際にネットワークを介して、コンテンツホルダー、コンテンツデストリビューター、ユーザとを接続して、実運用に近い構成での実験を行い、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行った。

2) 実験の構成

本実証実験では、著作権管理サーバを2台用意して、これらのサーバを連携させて運用する。

フランスサイトでは、フランス側の会員ならびにコンテンツを管理し、日本サイトでは、日本側の会員ならびにコンテンツを管理する。また、相互にコンテンツを提供・受給できるよう、連携する設定を行い、日本サイトから許諾されるコンテンツをフランス会員へ再許諾したり、フランスサイトから許諾されるコンテンツをお日本会員へ再許諾したりすることとする。

ここで、フランス会員が日本サイトから提供されるデジタルコンテンツを参照しようとする、まず、フランスサイトで認証が行われ該ユーザにコンテンツの利用が許諾されているか確認する。フランスサイトで許諾されていることが確認されると、さらに日本サイトで認証が行われ、フランスサイトにこのコンテンツの使用許諾が行われていることが、確認され、有効である場合、日本サイトからコンテンツを暗号化した際の複合化鍵が、フランスサイトの著作権管理サーバを介して提供される。

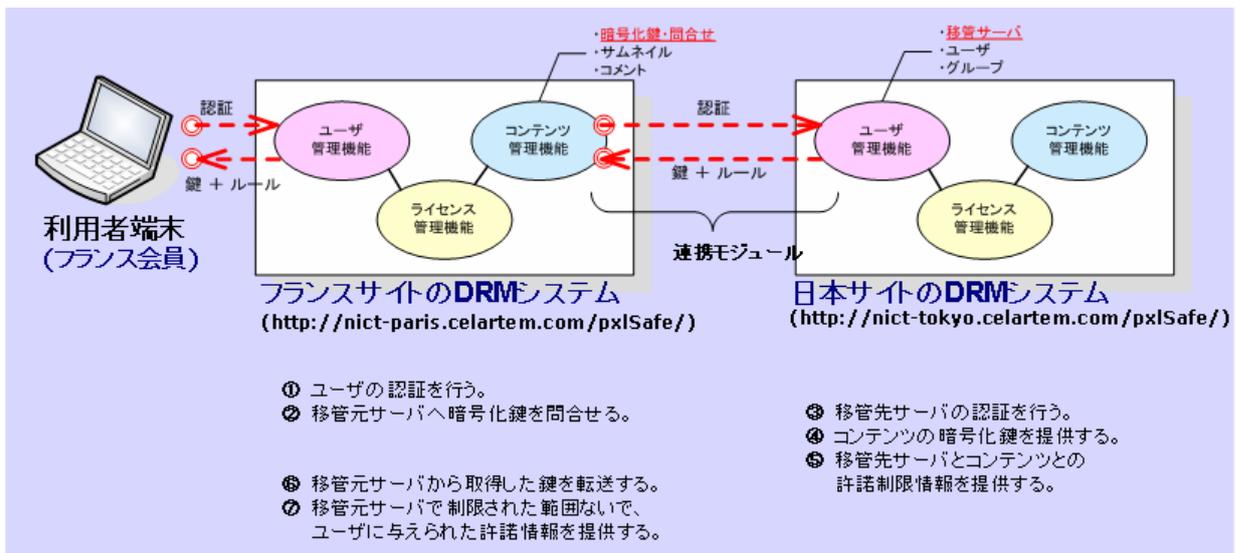


図4-4-1-1 実験の構成(その1)

分散著作権管理サーバは、コンテンツを提供するコンテンツホルダーと、利用者を提供するコンテンツデストリビューターとが連携して、運用できるように設計されている。

本実証実験における日本サイトとフランスサイトは、相互にコンテンツならびに利用者を提供するよう構成した。すなわち、日本サイトのコンテンツをフランスサイトの会員へ提供すると共に、逆に、フランスサイトのコンテンツを日本サイトの会員へ提供する構成とした。

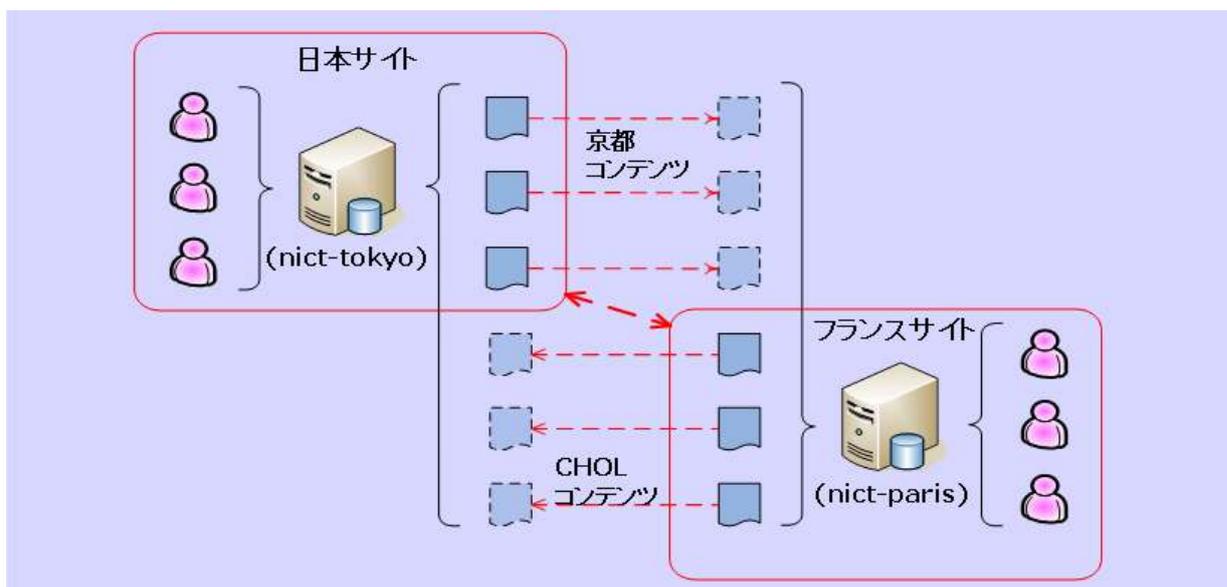


図4-4-1-2 実験の構成(その2)

3) 実証実験の接続先、内容

本実証実験に使用したフランスサイトの画像データは、オープンヘリテージプロジェクトの共同研究フレームワークの一環として、Cultural Heritage On Line (MuseumImages)社より提供を受けた。

オープンヘリテージプロジェクト (ISTプログラム OpenHeritage)は、ヨーロッパ共同体研究プロジェクトであり、インターネット上でヨーロッパの美術・文化財にアクセスするというプロジェクトである。

Cultural Heritage On Line社はヨーロッパにおける文化市場への供給を展開しており、国公立および私立美術館が所有する豊富な文化コレクションへのアクセスを可能に

し、また一般的にほとんど開拓されることのなかった図書館、古文書館も紹介し、デジタル画像を介して、画像のプロを奨励することを目指している。ヨーロッパ各地の美術館をつなぎ、新たなネットワークによって各美術館のコレクションを広く知らせることなどを目的とし、「シェリー・プロジェクト」と題したデジタル・グラフィック研究プロジェクトや、多言語アクセスを可能にする「イー・コンテンツ・プログラム」(eContent projet ML-Images)と「インタレグ・プログラム」(アルプス山脈地方の文化活動を目的に創立された MedIa-Alp プロジェクト)にも参加し、また、技術的な側面と商業的展開を同時に進めるために、「写真代理店・挿絵代理店全国組合」Syndicat National des Agences Photographiques et d'Illustration Générale (SNAPIG)に加入したりして活動を行っているものである。

実験で使用したコンテンツを付録 G の G.1 に示す。

フランスサイトで行う実証実験は(1) CHOL コンテンツを日本サイトへ提供する実験、(2) 日本の京都コンテンツをフランスの会員へ提供する実験の2つを行った。日、仏双方の著作権管理システムに対して、アクセス権の設定やコンテンツ使用許諾が問題なく行われることを確認した。管理者の操作や利用者の操作手順の詳細については付録 G の G.2 に示す。

4) 実証実験の結果

ヨーロッパで進行中のオープンヘリテージプロジェクトの共同研究フレームワークの一環として Cultural Heritage On Line 社から提供を受けたコンテンツを使用し、ネットワークを介して実運用に近い構成での実験を行うことができた。当プロジェクトでは、既に、画像および文化財コレクションを持つフォト・エージェンシー(美術館、古文書館、図書館など)の画像を、編集社、報道関係、視聴覚プロデューサー、広告代理店、デザイン関係に本物の画像として供給し、デジタル画像を入手するだけでなく、複製権や配信権(ヴァーチャル再現、3D 複製)のケアについても検討されている。

また、文化財デジタル化のアドバイスを提供したり、インターネットなど新しい媒体を活用するコンサルタントをしたりして、地方別・テーマ別に、1) 一般大衆向けヴァーチャル展覧会：各文化地への旅を誘う。2) 教育者・学生・生徒向け：各地の文化財を紹介し興味を持ってもらう。3) 文化に携わる専門家向け：豊かな文化財の価値を利用し、互いの交流を目指し、文化財概念の門を開く活動が行われているなど、デジタルコンテンツ化の体制基盤ができ上がりつつある。

今回開発したコンテンツホルダーとコンテンツデストリビューターに分けた分散環境で著作権管理を行うことで、こうした各地で既に活動しているコンテンツホルダーの保有する美術館や博物館の収蔵デジタルコンテンツを、ネットワーク上で有機的に結び付けて、相互に利用者へ再許諾できることが実証された。これによって、大規模なデータベースを構築するなどの管理上の負担がかかることなく、早急に、超高精細コンテンツ利用の市場化を実現することが可能となる。

また、今回の実証実験を通じて、新たに、コンテンツの配布が自動的に行われる仕組みに加えて、事前に特定のコンテンツホルダーから提供されたコンテンツを特定の利用者に対し、特定のライセンスを付与する機能が要求された。こうした新たな仕組みを取り入れることで、更に、管理運用上のコストを抑えて高付加価値のコンテンツの使用を広めることができるワンソースマルチユース対応のシステムへと発展させる予定である。

4-4-2 国内における実証実験

国内における実証実験として、以下の4つを実施した。

- ・ JGN2 シンポジウム 2005 in 大阪 (2005年1月17, 18日)
- ・ 国立西洋美術館「ジョルジュ・ド・ラ・トゥール展」(2005年3月8日～5月29日)
- ・ CEATEC2005 NICT ブースへの出展 (2005年10月4～8日)
- ・ JGN2 シンポジウム 2006 in 仙台 (2006年1月18, 19日)

以下に実証実験概要を示す(詳細は付録Jに示す)。

1) JGN2 シンポジウム 2005 in 大阪

1-1) 概要

本研究テーマでは、文化財や芸術作品などの文化的価値の高い高品位なデジタルコンテンツをコンテンツホルダーの研究を保護しつつ、大容量のネットワークを介して安全に流通させることを目的とし、超高精細デジタルコンテンツの生成からユーザへの配信に必要な技術の研究開発を行っている。

今回のデモは、本研究成果を適用したシステム製品及びサービスの市場性やユーザニーズに関する情報収集と、高速な JGNII (Japan Gigabit Network II) を利用した高精細デジタルコンテンツ配信におけるスケーラブル配信技術適用に関する実験データ収集を目的として実施した。

1-2) システム構成

出展システムは、けいはんな情報通信融合センタ内のオープンラボ(けいはんな会場)にサーバシステム、大阪国際会議場のシンポジウム会場に表示装置を設置し、JGN II を使用して高精細なデジタルコンテンツを配信・表示するシステムであり、コンテンツ表示には2,560×2,048画素表示の超高精細液晶ディスプレイと1,920×1,080画素表示可能な家庭用37インチ液晶デジタルテレビ、1,024×768画素表示のノートパソコンを使用した。

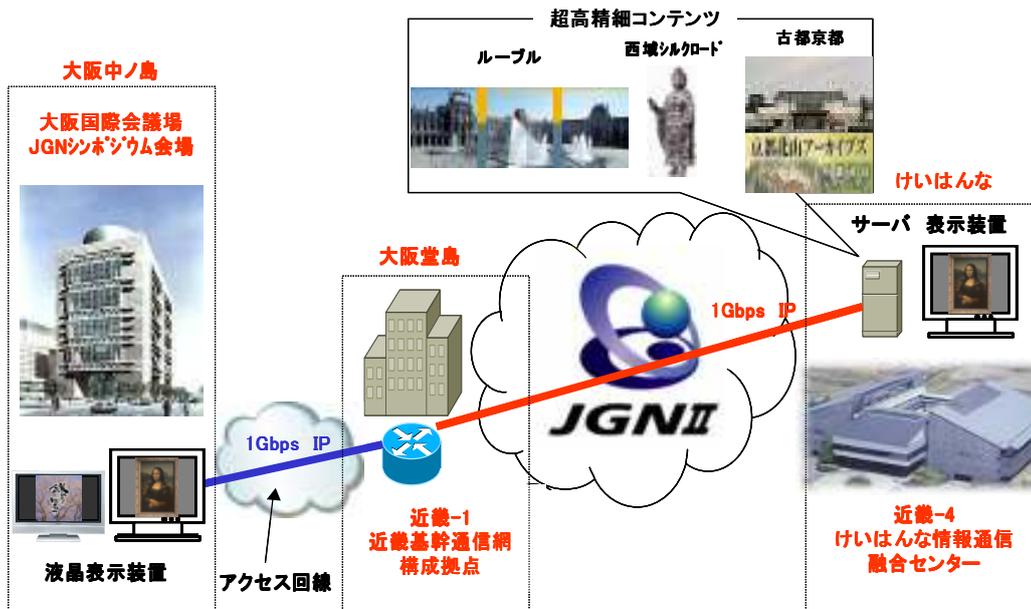


図4-4-2-1 JGN2 シンポジウム 2005 ネットワーク構成

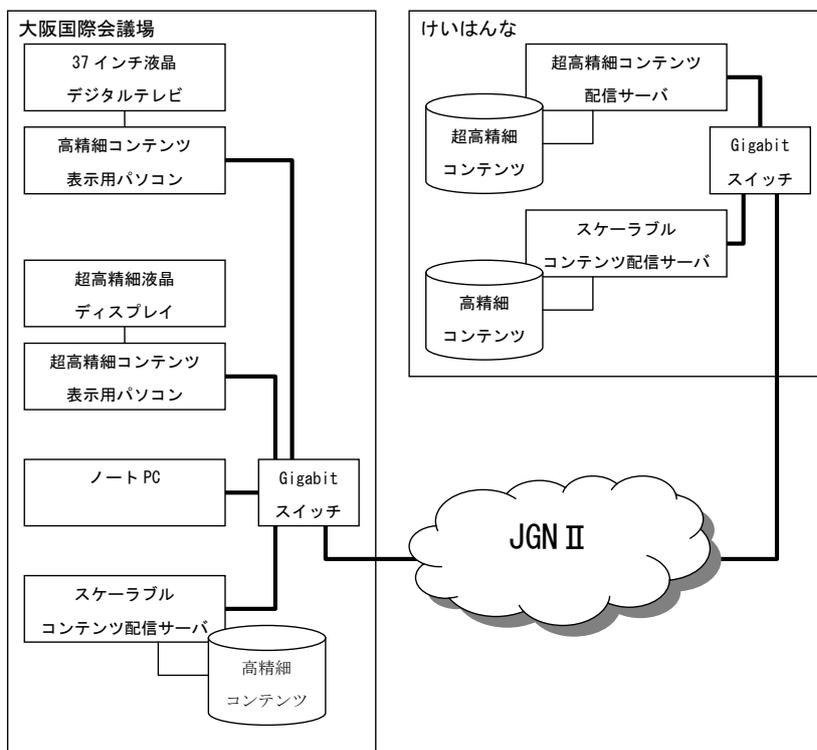


図4-4-2-2 出展システムの機器構成図

1-3) 結果

今回の実験では、文化財や芸術作品などの文化的価値の高い高品位なデジタルコンテンツをコンテンツホルダーの研究を保護しつつ、大容量のネットワークを介して安全に流通させることを目的とした超高精細デジタルコンテンツ配信技術の展示を行い、多くの来場者の方とのディスカッションや貴重な意見を頂くことができた。特に本技術が適用可能なシステム製品及びサービスの市場性やユーザーニーズに関する情報の入手は最終年度の研究開発に対し非常に有効であった。

2) 国立西洋美術館「ジョルジュ・ド・ラ・トゥール展」

2-1) 概要

国立西洋美術館（東京・上野公園）では、企画展示として、17世紀のフランスの画家「ジョルジュ・ド・ラ・トゥール展」が2005年3月8日～5月29日の日程で開催された。本展示会は、世界中に分散する限られた同画家の作品を一堂に集めたもので、世界中で40点と言われるラ・トゥールの真作のうち、約半数の20点の真作と共に関連作品の展示が行われた。同美術館では、比較的少ない展示品を補う意味も含め、マルチメディアコーナを併設し、マルチメディア技術を活用してラ・トゥールの作品や生涯の紹介を行った。

このマルチメディアコーナの一角に、ラ・トゥールの真作から取得した高精細画像データを細部まで拡大して表示するブラウザを展示し、超高精細液晶ディスプレイによる絵画鑑賞に対する来訪者のアンケートデータ収集を目的とした実証実験を行った。また、同時に民生用大型液晶デジタルテレビによるラ・トゥールの作品・生涯を紹介するコーナーも設けた。



図4-4-2-3 「ジョルジュ・ド・ラ・トゥール展」マルチメディアコーナー

2-2) システム構成

超高精細液晶ディスプレイによるデモ

会場の関係でネットワーク利用ができず、本展示はスタンドアロンでのブラウザ展示とした。2,560画素×2,048ライン表示可能な28インチの超高精細液晶ディスプレイをWindowsプラットフォーム上で動作させ、MozillaのFirefoxブラウザ上でHTMLとJavaScriptを使用したコンテンツブラウザを構築した。

来場者が自由に操作することを前提に、絵画鑑賞以外のPC操作をJavaScriptで不可能とした。また、どの程度利用されたかを把握可能にするため、webサーバを稼働させ、各ページのアクセスログを取得した。



図4-4-2-4 超高精細液晶ディスプレイによるデモ

液晶デジタルテレビによるデモ

ラ・トゥールの作品・生涯を紹介するビデオ上映は、Macromedia 社の Flash によりコンテンツをループ再生するもので、表示にはフル HDTV 解像度 (1,920 画素×1,080 ライン) が表示可能な 37 インチ液晶デジタルテレビを 3 台用意し、2つの異なるコンテンツの表示を行った。

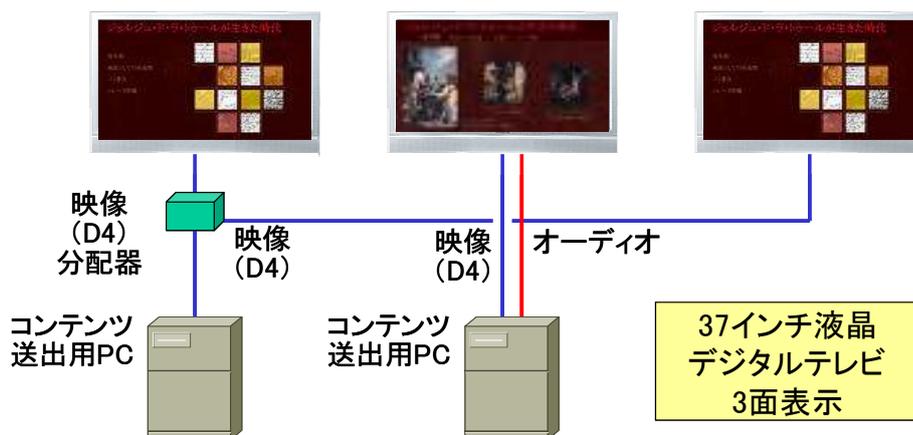


図4-4-2-5 液晶デジタルテレビによるデモ

2-3) 結果

来場者に対する無記名アンケートを実施 (回答総数 531 件) し、超高精細液晶ディスプレイによるコンテンツ鑑賞に対する品質や操作性に対する満足度を調査した。「大変よい」～「悪い」までの5段階評価によるMOS値の集計結果を表4-4-2-1に示す。

表4-4-2-1 超高精細液晶ディスプレイによるデモのMOS値

	MOS
絵画鑑賞のための品質	4.27
操作性	3.81
内容	3.79

その結果、超高精細ディスプレイによる表示は絵画鑑賞品質としては充分満足できるものであることがわかった。また、操作性についてもパソコンに慣れていない来場者が

多かったにも関わらず、MOS 値がほぼ 4 (よい) に近い結果が得られ、ブラウザによる絵画鑑賞が受け入れられていることを示すことができた。なお、アンケートの回答を精査すると、悪いと評価している意見の大半は作品数が少ない (今回は著作権の関係から 3 作品しか用意できなかった) ことであり、もっと多くの作品を超高精細ディスプレイで見てみたいとの要望や、自分も欲しい、マルチメディアの能力を活かした展示で興味深い、など好意的な意見が多かった。

これらの展示を通じ、ブラウザ操作で鑑賞を可能にするブラウザシステムの構築、及びその展示、更にアンケートによるユーザからのフィードバックを通して、使いやすさ・堅牢さ・ユーザの要求の多様さ、等を確認することが出来た。また、国立西洋美術館の学芸員を初めとする専門家の意見を聞きながら一般の美術愛好家に対してデジタル鑑賞の一方法を示せたことは有意義であった。

3) CEATEC2005 NICT ブースへの出展

3-1) 概要

本研究テーマでは、文化財や芸術作品などの文化的価値の高い高品位なデジタルコンテンツをコンテンツホルダーの研究を保護しつつ、大容量のネットワークを介して安全に流通させることを目的とし、超高精細デジタルコンテンツの生成からユーザへの配信に必要となる技術の研究開発を行っている。

今回のデモは、これまでの研究開発成果の一般公開が主な目的である。

デモ展示したものは、コンテンツブラウザ、質感ブラウザ、カラーマネージメント (紙、布への出力結果) である。

3-2) システム構成

デモ展示のシステム構成を図 4-4-2-6 に示す。

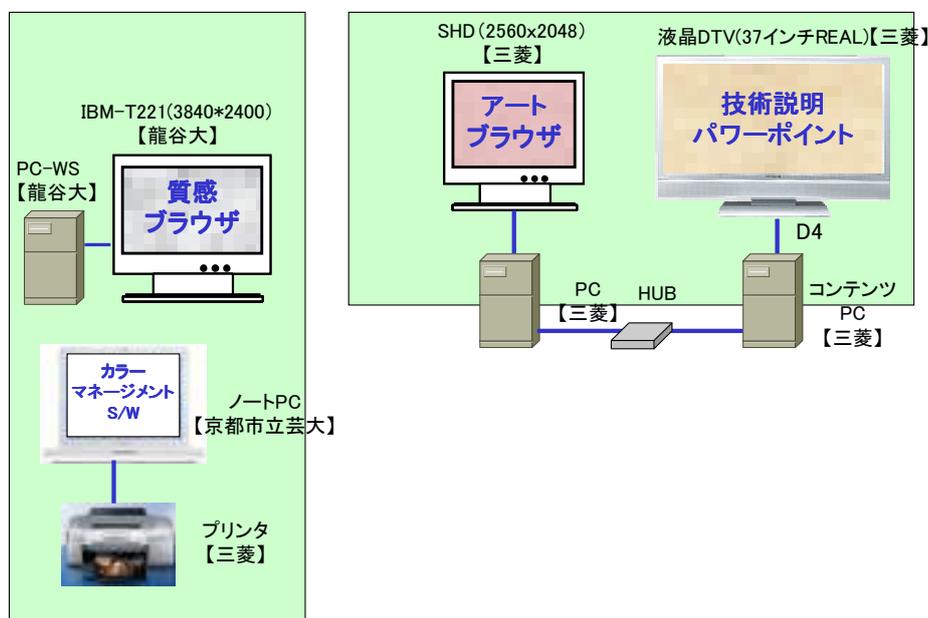


図4-4-2-6 CEATEC2005 展示システム

CEATEC 会場では、最大でも 100Mbps のネットワークしか利用できないとの情報から、ネットワーク経由でのコンテンツブラウジングは行わず、ローカル接続によるシステム構成とした。

デモでは色温度軸に対応した二次元マップ表示を備えたコンテンツブラウザ、微細形状データを用いた三次元質感ブラウザ、出力メディアの相違に対応するカラーマネージ

メントの3つについてデモと技術説明を行った。

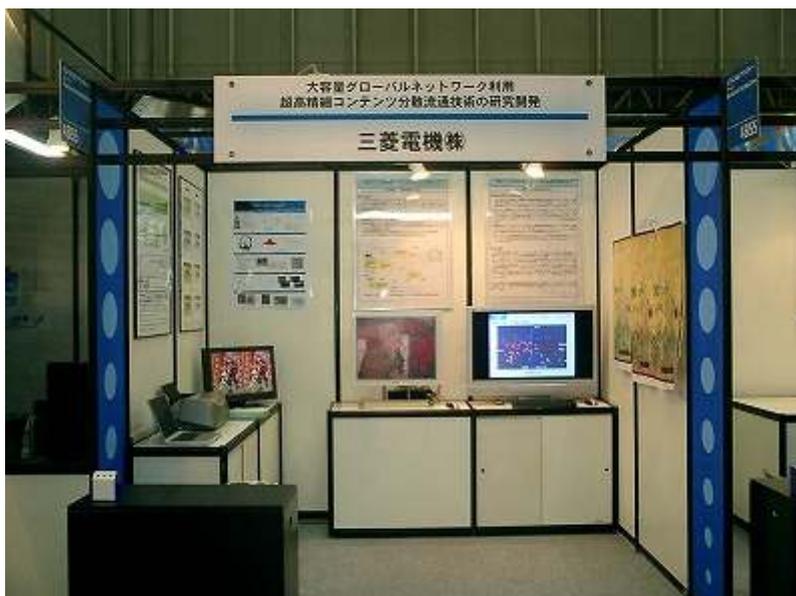


図4-4-2-7 CEATEC2005 展示システム全景

3-3) 結果

国立西洋美術館で一般の来場者に対して公開したブラウザに対する意見を参考に、多数のコンテンツから容易にブラウザできるように改良を施したブラウザを用いてデモを実施した。色温度を特徴量の軸にとることで、直感的なコンテンツ選択が可能となることを示した。

4) JGN2 シンポジウム 2006 in 仙台

4-1) 概要

本プロジェクトでは、文化財や芸術作品などの文化的価値の高い高品位なデジタルコンテンツをコンテンツホルダーの研究を保護しつつ、大容量のネットワークを介して安全に流通させることを目的とした研究開発を実施してきた。JGN2 シンポジウム 2006 に向けて、研究開発期間における最後の実証実験の場であり、特に過去の実証実験において問題点とされたブラウザの改良を行った。

ネットワークとして JGN2 のギガビットネットワークを利用し、京都けいはんな地区から仙台へのコンテンツ配信実験も同時に実施した。



図4-4-2-8 JGN2 シンポジウム in 仙台 展示システム全景

4-2) システム構成

システム構成を図 4-4-2-9 に示す。京都けいはんなにコンテンツサーバを 2 台設置し、JGN2 のギガビットネットワークを経由して JGN2 会場である仙台に大容量コンテンツを配信、表示を行った。

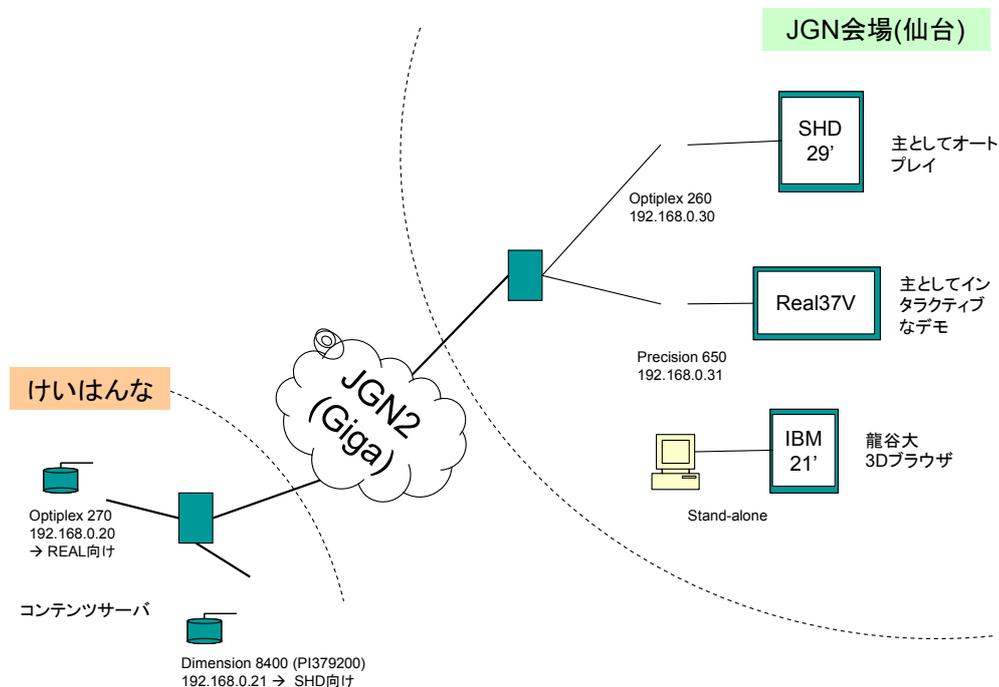


図4-4-2-9 JGN2 シンポジウム 2006 in 仙台 展示システム

システムの特徴は以下のとおりである。

- 高速ネットワーク (JGN2) 上での超高解像度の暗号化 JPEG コンテンツ伝送
- 多様な検索機能と高機能で軽快なブラウザ

4-3) 結果

本研究開発期間のまとめとしての実証実験を行った。過去の実証実験において問題点であった箇所を改善し、主として以下の2点を確認するための実験を行った。

- 高速ネットワーク (JGN2) 上での超高解像度の暗号化 JPEG コンテンツ伝送
- 多様な検索機能と高機能で軽快なブラウザ

暗号化されたコンテンツによるセキュアなネットワーク配信、ブラウザへのプラグインによる多様な検索と軽快なブラウジングが可能であることを示した。

4-5 総括

2-2-1 に掲げた最終目標に沿って本委託研究を通じて得られた成果を記載する。

4-5-1 【課題 ア】 超高精細コンテンツデジタル化技術の研究開発

- 分割撮影カメラ、全体撮影カメラ、パターン照射用プロジェクタを1台のPCに接続し、GUIでアシストされる撮影ワークフローに従って操作することにより、合成に必要な参照パターンと分割撮影画像のペアを効率よく取得する撮影システムを開発した。さらに、分割画像から高精細画像を合成出力する合成ソフトウェアを開発した。これらにより、超高精細・高忠実度デジタルコンテンツ生成の自動化を実現した(4-1-1、付録A)。
- フィルムとスキャナを用いたデジタル化では、機材のセットアップ等の準備時間以外に、フィルム撮影とスキャナでのデジタル化に約30分、フィルムの現像に2~8時間を要する。開発した高精細画像合成システムでは、9600万画素(8,000x12,000)の画像生成を行うために、撮影に約30分、合成処理に約30分であり、デジタル化に要する時間を従来の半分以下に短縮することを可能にした(4-1-1)。
- 撮影から保存時までの統一したカラーマネージメントを行うため、1)標準のカラーチャートの決定、2)16bit非圧縮TIFFデータの保存形式、3)画像データへの撮影時メタデータの埋め込み、4)流通過程でのデータ散逸を防ぐバックアップシステム、の4項目が手法確立に必要であることを示した(4-1-2)。
- 出力マテリアル(メディア)の相違による異なる発色への対応として、1)プリンタドライブ上で従来以上に多様なメディア向けのプロファイルを作成する、2)メディアに対応したカラープロファイルを供給・流通させる、の2項目が手法確立に必要であることを示した(4-1-2)。
- コンテンツ生成側で作品傾向別のカラープロファイルを作成・供給し、コンテンツ利用者は、DSマジックのドロップフォルダ機能の様なプロファイルの自動変換を利用する形態をとることで、ネットワーク分散された作業環境下でもカラーマネージメントを容易に行うことが可能になることを示した(4-1-2)。
- 本研究プロジェクトで開発した傾斜ステージ方式テクスチャ入力装置を用いて、質感データ入力・三次元微細形状データ入力実験を実施し、約1000点の画像取得を行った(4-1-3、付録C)。
- 暗号化されたコンテンツとともにメタデータを供給し(或いはメタデータを取得可能なlocation情報を供給)、コンテンツナビゲーション時のメタデータ表示や、リンク、補助情報として活用可能なことを示した(4-3-2、付録I 1-4.2.2、付録J-4)。

4-5-2 【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

- 複数のコンテンツホルダーとプロバイダーとがお互いに連携先を増やすことで、容易に、より多くの利用者へ、より多くのコンテンツを提供することのできるワンソースマルチユース型のシステムならびにサービス形態を検討し、そのビジネスモデルを実証するためにヨーロッパとの接続実験を行った(4-2-2、4-4-1)。

- ・ 利用者が保護された高品位デジタルコンテンツのファイルにアクセスすると、利用者の管理を行うデストリビューターのサーバとコンテンツの管理を行うホルダーのサーバとで連携して認証が行われ、両者で割り当てられたルールに基づきコンテンツの利用が許諾される分散環境著作権管理システムを構築した（4-2-2）。
- ・ 高品位デジタルコンテンツのファイルの内部構造を解像度多重や品質レベルなど必要な部分だけ抽出できるようにし、更に、利用者がコンテンツを参照する際、仲介サーバ上にデータをキャッシュすることで、全体が大きなデータベースとして矛盾のない統一的な管理を可能とした（4-2-1）。
- ・ 著作権保護透かしの基本方式を開発し、検出精度向上を目的とした改良を行い、検出結果の信頼度を推定する方法を検討した。その結果、SN 比 45dB 以上の品質で 256bit のデータを電子透かしデータとして埋め込んだ際に検出誤りを 10^{-5} 以下とすること、及び、JPEG 等の符号化・復号化に対し、電子透かしの検出誤りを 10^{-3} 以下にできることを確認した（4-2-3、付録H）。

4-5-3 【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

- ・ 視聴環境（位置、光源）に応じて三次元モデルの質感表現を変化させることの可能な質感表示ブラウザを開発した（4-1-3）。
- ・ 2段階の色深度多重と最高9段階の解像度の構造を持つ解像度多重フォーマットを開発し、ユーザの要求に応じて低解像度から高解像度までの画像を必要最小なデータ伝送で配信することを可能にした（4-2-1）。また、多彩な検索機能を備えた、高速なコンテンツブラウザの開発を行った（4-3-1）。
- ・ 大量のコンテンツを処理可能とする複数の検索サーバを持つ検索システムを構築した。検索画面でも2次元マップでの自由な部分拡大、マウスオーバによるサムネイル拡大など、大量データの検索に対応したシステムとした（4-3-1）。
- ・ 西洋美術館での公開実験で実施したアンケートの結果で、品質と操作性とから平均 4.0 の MOS 値を達成した。その後の開発ではアンケート結果を反映し、さらに使い勝手を向上させた（4-4-2）。

4-5-4 【課題 エ】実証実験

- ・ コンテンツ配信サーバ、検索サーバ、コンテンツ管理サーバを、IP ベース分散型で構築した（4-2-2、4-3-1）。また、それぞれに機能、性能を検証する目的で、JGN2 高速ネットワークを使用したコンテンツ配信実験、国立西洋美術館での公開実験、フランス・オープンヘリテージプロジェクトの共同研究フレームワークの一環として Cultural Heritage On Line 社の協力を得るなど、国内外での実証実験を行い、その有効性を確認した（4-4-1、4-4-2）。
- ・ 従来の一極集中型のコンテンツ管理・検索処理から、複数のコンテンツ管理サーバが、互いに検索要求を必要に応じて他のサーバに処理を分散させることで、管理コンテンツの分散による検索負荷の低減を図り、レスポンスの低下を防ぐような設計とした（4-3-1）。

5 参考資料・参考文献

5-1 研究発表・講演等一覧

5-1-1 研究論文（査読有）

- (1) 村山, 岡田, "分割 K-平均法による領域分割結果を用いた航空写真からの道路抽出", 写真測量とリモートセンシング 写真測量学会, 平成 15 年(2003 年)2 月
- (2) 正司, 岡田, "正投影図を用いた視体積交差法に基づくキジル石窟およびモール仏塔の 3 次元形状モデリング", 日本情報考古学学会誌 日本情報考古学会, 平成 15 年(2003 年)3 月
- (3) 正司, 岡田, "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, 平成 15 年(2003 年)7 月
- (4) 久保, 岡田, "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, 平成 16 年(2004 年)4 月掲載

5-1-2 外国発表論文（査読有）

- (1) 辰巳, "Research into the characteristics of coloration due to the paper used for printing", CRISATEL レビュー(パネル発表), 平成 15 年(2003) 4 月 4 日
- (2) 伊藤, "An Estimation of the upper bound of TCP throughput in High-speed Networks", IASTED EuroIMSA Proceeding, 2006 年 2 月 13~15 日
- (3) 岡田, "Morphological Skeleton Based 3D Shape Data Compression", IMQA2005, 2005 年 9 月 5~6 日
- (4) 岡田, "Interaction System Based On Virtual Candle Light", ICAT2005, 2005 年 12 月 5~8 日

5-1-3 外部機関誌論文

- (1) 辰巳, "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(2003 年)10 月

5-1-4 一般口頭発表

- (1) 正司, 岡田, "デジタルアーカイブのためのコンテンツ管理システムの構築 (Development of 3-D Contents Management System for Digital Archives)", 人文科学とコンピュータシンポジウム 情報処理学会, 平成 14 年(2002)9 月
- (2) Syoji, Okada, "3-D modeling and Coloring Wall Paintings for the Bezeklil caves", 5th International Dunhuang Project (IDP) Conference, 平成 14 年(2002)10 月
- (3) 辰巳, "日本におけるデジタルアーカイブの現状", 故宮博物館, 平成 15 年(2003)8 月 25 日
- (4) 辰巳, "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(2003)9 月 29 日
- (5) 辰巳, "デジタルアーカイブの現状", 意匠学会(講演), 平成 15 年(2003)11 月 15 日
- (6) 辰巳, "感性の時代と技術", 日本電気計測器工業会(講演), 平成 15 年(2003)12 月 10 日
- (7) 加藤, 岡田, "簀の目の測定法の開発および応用例", 第 25 回文化財保存修復学会, 平成 15 年(2003)6 月
- (8) Maruyama, Okada, "A Study of Discoloration Model to Reproduce Color Dyeing", Cultures of the Silk Road and Modern Science, 平成 15 年(2003)9 月 12 日
- (9) Kato, Okada, "A novel method of analyzing laid-lines of paper", Cultures of the

- Silk Road and Modern Science, 平成 15 年(2003)9 月 12 日
- (10) Shoji, Okada, "VR Reconstruction for Cave Temples", Cultures of the Silk Road and Modern Science, 平成 15 年(2003)9 月 12 日
 - (11) 伊藤, 馬養, 藤井, 鈴木, "電子透かしを保存する凸射影法を用いた JPEG 復号方法", 情報処理学会全国大会, 平成 16 年(2004)3 月 11 日
 - (12) 岡田, "Color Transfer 手法による状況適応型検索画像提示", 人文科学とコンピュータ研究会 情報処理学会, 平成 16 年(2004)5 月
 - (13) 村山, 岡田, " $1\alpha\beta$ および HSV 色空間を用いた Color Transfer 手法", Visual Computing/Graphics と CAD 合同シンポジウム 情報処理学会, 平成 16 年(2004)6 月
 - (14) 正司, 岡田, "Virtual Candle: 反射分布フィルタを用いた仮想光源の実現", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004) 情報処理学会 電子情報通信学会, 平成 16 年(2004)7 月
 - (15) 浅井, 鈴木, "超高精細コンテンツ分散流通技術", JGN2 シンポジウム in 大阪 デモ展示, 平成 17 年(2005)1 月 17~18 日
 - (16) 浅井, 鈴木, "超高精細ディスプレイで見る「ジョルジュ・ド・ラ・トゥール」", 国立西洋美術館 ジョルジュ・ド・ラ・トゥール展, 平成 17 年(2005)3 月 7 日~5 月 29 日
 - (17) 辰巳, "Marketing Plans, Editing and Design Prowess are the Driving Force Behind Content Distribution", 故宮博物院 国際博物館と分化資産マルチメディア展示会 コンテスト・フォーラム (台湾政府招待講演), 平成 16 年(2004)5 月 4 日
 - (18) 辰巳, "デジタルアーカイブの現状", 京都大学 芸術のための科学技術セミナー (講演), 平成 16 年 10 月 27 日
 - (19) 千葉, 岡田, "傾斜ステージ方式質感データ入力", 電子情報通信学会 2005 年総合大会, 平成 17 年(2005)3 月 23 日
 - (20) 秦, 岡田, "コンテンツの色分布を考慮したカラーマネージメントシステム", 電子情報通信学会 2005 年総合大会, 平成 17 年(2005)3 月 21 日
 - (21) 西川, "超高精細コンテンツの表示ブラウザに関する検討", 2006 年電子情報通信学会総合大会, 平成 18 年 3 月 27 日
 - (22) 加藤, 西川, "超高精細コンテンツ分散流通技術の開発", JGN2 シンポジウム in 仙台 デモ展示, 平成 18 年(2006)1 月 18~19 日
 - (23) 千葉, 岡田, "BTF に基づく高精彩表面呈示システム", インタラクション 2006, 平成 18 年(2006)3 月 2~3 日