

音楽コンテンツの著作権管理——フィンガープリントを用いた P2P 著作権処理プラットフォームの提案——

矢野友加里[†] 川原崎雅敏^{††}

Copyright Management of Music Contents——Copyright Processing Platform for P2P Networks Using Audio Finger Print——

Yukari YANO[†] and Masatoshi KAWARASAKI^{††}

あらまし 本研究では、日本音楽著作権協会 (JASRAC) 等を訪問し、音楽利用に関する著作権使用料徴収・分配の現状について調査を行った。その結果、インタラクティブ配信の領域において、楽曲利用の報告が不十分なために著作権使用料の徴収・分配精度が低く、決定的な対策がとられていないことが分かった。本論文では、インタラクティブ配信の中で違法な楽曲流通が多い P2P (Peer-to-Peer) ネットワークによるユーザ間の音楽共有に対して、現在行われている不正流通の監視ではなく、著作権処理を行わせた上で、合法的に P2P ネットワークで楽曲を流通させる方式を提案する。提案方式では、P2P ネットワークでの楽曲流通を管理するために、著作権管理サーバと呼ぶサーバを置く。また、ユーザが流通させる楽曲の特定に、放送番組の利用楽曲特定に実用化されつつあるオーディオフィンガープリント (AFP) を利用する。各種の P2P ネットワークで流通する楽曲について、AFP 技術を用いた著作権処理の所要機能を明らかにし、諸機能をユーザ PC とサーバの連携によって実現する著作権処理プラットフォームの提案と評価を行う。更に、AFP による楽曲特定をリアルタイムで行うための AFP 照合システムについて、各種サーバ分散処理方式の性能解析を行い、AFP 照合に伴うユーザ待ち時間を合理的な範囲内に抑える分散形態を明らかにする。

キーワード 音楽コンテンツ, 著作権使用料, P2P ネットワーク, オーディオフィンガープリント, サーバ分散

1. ま え が き

著作者は、自らの著作物に対し、演奏権、上映権、複製権、貸与権、公衆送信権といった著作権をもつ。著作権使用料は、他者が著作物を利用してこれらの権利を制限する場合に著作権者へ支払われるものである。音楽の場合、多くは音楽著作権管理団体に著作権が譲渡されており、その管理団体を通じて著作権使用料の徴収や分配が行われる。

音楽コンテンツは、パッケージ、放送、上演・演奏、ネットワークなど、様々な流通経路で利用され、その利用量に応じて著作権者に著作権使用料が支払われる。

しかし、使用料の徴収・分配の精度は、流通の経路や形態によって様ではない。

本研究では、社団法人日本音楽著作権協会 (JASRAC) や放送局等を訪問し、現在の使用分著作権使用料の徴収・分配状況について調査を行った。その結果、パッケージによる流通や、ネットワーク上の商用音楽配信サービス、通信カラオケ等では徴収・分配精度が高いものの、放送、上演・演奏、ネットワークを通じたユーザ間の音楽共有では徴収・分配精度が低いことが分かった。音楽著作権使用料の徴収・分配は、使用楽曲の報告に基づいて行われるため、報告精度が低いと徴収・分配精度は低くなる。このため、サンプル調査による報告を行う放送局では一般に精度が低い。しかしながら、放送局においてはオーディオフィンガープリント (AFP) 技術を用いた使用楽曲の全数報告が実用化される予定であり、報告精度の問題は解消されつつある。AFP とは、楽曲ファイルから抽出される要約であり、使用楽曲を AFP データベースと照合す

[†] 筑波大学図書館情報専門学群, つくば市
School of Library and Information Science, University of Tsukuba, 1-2 Kasuga, Tsukuba-shi, 305-8550 Japan

^{††} 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科, つくば市
Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba, 1-2, Kasuga, Tsukuba-shi, 305-8550 Japan

ることにより、楽曲を一意に特定することができる。放送局の AFP データベースも現在楽曲数が拡充されつつある。一方、使用楽曲の報告が全くなされない Peer-to-Peer (P2P) によるユーザ間の音楽ファイル共有では、著作権使用料の徴収・分配はそもそも不可能である。P2P ファイル共有ソフトである Winny を通じ無許可で送信可能となっている音楽ファイルは、金額にして 4 億 4000 万円分以上との試算もあり [1]、放置できない問題となっている。この問題に対しては、現在、JASRAC が P2P ネットワークを含むインターネット上の音楽ファイルの巡回と監視を行い、不正な楽曲流通が見つければ警告する等の措置をとっている。しかし、これはあくまで予防措置であり、問題の解決にはなっていない。

このような背景のもとに、本論文では各種 P2P ネットワークにおけるユーザ間の音楽コンテンツ共有に対して著作権処理を行い、著作権使用料の徴収・分配を確実に実現するプラットフォームを提案する。楽曲の特定には、現在放送での使用楽曲特定において実用化されつつある AFP 技術を用いる。各種 P2P ネットワークにアップロード・ダウンロードされる楽曲をサーバ側で正確に記録・計数し、利用者にペイメントを行わせるプラットフォームを構築することにより、P2P ネットワークでの不正な楽曲の共有が対価を払った上での合法的なものとなり、著作者へ益をもたらす。

一方、AFP による楽曲照合は、放送ではオフラインで行われるが、P2P ネットワークではオンラインでリアルタイムに行う必要がある。放送用の AFP データベースには 130 万曲程度の AFP サンプルが蓄積されており、P2P でも同様のデータベースを用いるとすると、P2P で発生するすべてのアップロード要求あるいはダウンロード要求に対して、リアルタイム照合を行うためには複数の AFP 照合サーバで分散処理する必要がある。そこで本論文では、複数台配置する場合のサーバ台数や分散処理構造について、想定されるアーキテクチャに対する性能解析を行い、AFP 照合に伴うユーザ待ち時間を利用者の快適性を損なわない程度に抑えるサーバ分散形態を明らかにする。

関連研究については、P2P ネットワークにおける音楽ファイルを含むコンテンツの違法流通管理に関して、コンテンツ自体を利用者対応に一つ一つ個別化することで違法な流通を防ぐ CoFIP (Content Finger Printing) [2]、DRM を用いてコンテンツの利用を許可された者だけに制限することで違法流通を防ぐ提

案 [3]、P2P ネットワークに著作権処理機能をもたせることにより違法流通を防ぐ Music2Share [4] 等の研究例がある。しかし、文献 [2] はコンテンツの違法流通の監視が目的、文献 [3] は個人のコンテンツをユーザがプロバイダーとなって管理・配信することが目的であり、ユーザが配信する商用のコンテンツに著作権処理を行う本論文の方式とは異なる。文献 [4] は著作権処理機能を有する新たな P2P ネットワークの提案であるが、アーキテクチャを提示しているだけで、具体的な方法論は明確になっていない。その他、音楽コンテンツの検索にキーワードと AFP を併用する提案 [5] や、P2P の著作権処理に市販 DRM ツールを用いる方法 [6] 等があるが、文献 [5] は著作権管理には言及しておらず、文献 [6] は市場分析が主であり、いずれも本論文の対象とは異なっている。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では音楽著作権使用料の徴収・分配方法と、現状における精度に関する調査結果を述べ、3. では精度向上に向けて現在とられている対策について述べる。4. では P2P ネットワークにおける著作権処理の研究例を述べる。5. では AFP 技術を用いた P2P ネットワーク著作権処理プラットフォームの提案を行い、6. ではリアルタイム AFP 照合のためのサーバシステムの分散構造に関する性能解析を行う。最後に 7. でまとめと今後の課題を述べる。

2. 音楽著作権使用料の現状

2.1 音楽著作権使用料の徴収・分配方法

本節では、JASRAC に委託された音楽に関する著作権使用料の徴収・分配方法について説明する [7]。

JASRAC は、日本最大の音楽著作権管理団体である。音楽著作権管理団体は、団体に権利譲渡した著作権者に代わって、音楽の著作権処理の窓口となる。

図 1 は権利と著作権使用料の流れの概略図である。まず、楽曲の作詞・作曲者や、彼らに著作権を譲渡された音楽出版社などの著作権者は、JASRAC に著作権の全部または一部を信託譲渡する。JASRAC は楽曲の利用者に対して許諾を与え、JASRAC の著作物使用料規程に従い著作物使用料を徴収する。そしてそこから規定された管理手数料を差引き、残りを JASRAC の著作物使用料分配規程に従い楽曲の著作権者に分配する。

2.2 音楽著作権使用料徴収・分配の現状

図 2 は、平成 19 年度に JASRAC が徴収した音楽

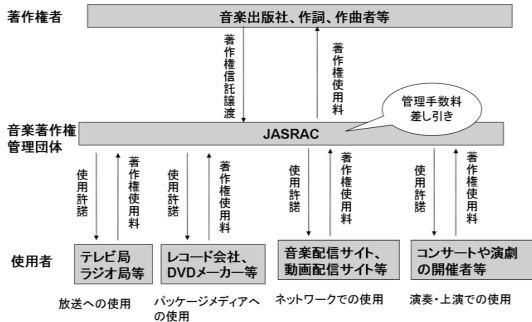
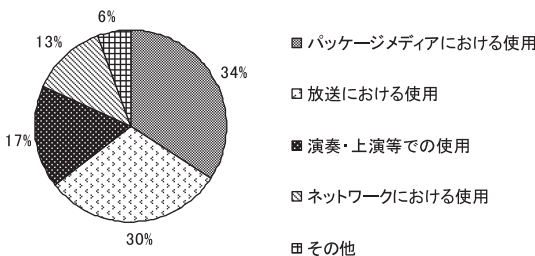


図 1 音楽著作権使用料と権利の流れ

Fig. 1 Flow of music copyright and royalty.



(JASRAC 平成 19 年度収支計算書 [10] より作成)

図 2 平成 19 年度 JASRAC 使用料収入内訳

Fig. 2 JASRAC royalty revenue breakdown in 2007.

著作権使用料の利用形態別内訳である。音楽には様々な利用のされ方があるが、図のようにその内訳には偏りがある。著作権使用料の分配精度向上を目指すには、内訳が大きいが、まだ正確に使用料が徴収・分配されていない利用形態に対して優先的に対処方法を考える必要がある。

本節では、利用形態別に、JASRAC が行う音楽著作権使用料徴収・分配 [8], [9] の現状を述べる。なお調査のために、JASRAC, NHK 放送センター, テレビ朝日, 研究学園都市コミュニティーケーブルサービス (ACCS) のそれぞれを訪問した。

2.2.1 パッケージメディアにおける音楽著作権使用料の現状

パッケージメディアにおける使用とは、CD やビデオ、DVD などへの音楽の使用を指す。その際に関係する著作権は、複製権である。

楽曲を CD, テープ等へ録音して市販する場合の音楽著作権使用料は、媒体の定価と、製造数によって決定する。この場合、著作権使用料はレコード会社等から報告される製造数や収録曲等のデータに基づいて、正確に徴収・分配が行われるといえる。

DVD やビデオテープ等へ音楽を録音使用する場合、利用楽曲数、総再生時間中で楽曲を利用した割合、媒体の小売価格、製造数によって、使用料が計算される。CD 等への録音の場合と同様に、メーカーからの報告をもとにしており、楽曲報告はおよそ正確であるといえる。

個人での録音に関しては、J-RAPP というシステムを通し、オンラインで利用申し込みや使用楽曲報告手続きが可能であり、簡便化が図られている。

2.2.2 放送等における音楽著作権使用料の現状

テレビ、ラジオ、CATV などの有線放送で楽曲を利用する際は、著作権中の公衆送信権が関係する。また放送のために楽曲を録音する際は、複製権が関係する。放送局では、日々大量の楽曲が利用されており、すべての楽曲に対して使用前に許諾を取ることは現実的に不可能である。そこで、1 年ごとに使用料を包括的に支払えば、JASRAC の管理楽曲をどれだけ使用してもよいというプランケット方式が採用されている [11]。

徴収された著作権使用料を JASRAC が著作権者に分配するためには、どの楽曲を使用したかが報告されなければならない。しかし、大量に使用される楽曲をすべて報告することは物理的に困難であるので、ほとんどの放送局で、商業用レコードの使用に関してはサンプリング方式がとられている^(注1)。この方式は、放送局が指定された週だけ (テレビ局では 13 週に 1 週) 使用した楽曲を記録して JASRAC に報告し、統計学に基づいて全体を予測するというものである。

しかし、この方式ではサンプリングから漏れてしまった楽曲に対しては使用料が支払われない、利用楽曲報告が手作業であるため、正確な著作権者への分配が行われていない等の問題が指摘されている。

2.2.3 演奏等における音楽著作権使用料の現状

コンサートや演劇、社交場などで楽曲が演奏利用される場合は、演奏権が関係する。

著作権使用料は、利用方法と平均入場料等によって著作権使用料が決まる。入場料のない場合、定員数によって決定する。利用申し込みや使用楽曲報告は、J-OPUS というシステムを通じてオンラインで行うことができる。

演奏使用は、特に小規模な店舗においての利用報告が正確に行われていない場合が多いとの指摘がある。

(注1) : 生演奏、映画放映については全曲報告。

2.2.4 ネットワークにおける音楽著作権使用料の現状

ネットワークを通じた使用は複合使用と呼ばれ、通信カラオケ配信と、インターネットでのインタラクティブ配信（音楽配信サービス等）が含まれる。音楽データが蓄積されるまでに、公衆送信権と複製権が密接不可分にかかわってくるため、このような名称で呼ばれる。

通信カラオケ配信では、配信可能な状態の楽曲数と、受信可能な端末機器の数とその月額使用料によって、著作権使用料が決定する。利用楽曲は配信業者のとの配信ログによって報告されるので、著作権使用料の徴収・分配は正確に行われているといえる。

インタラクティブ配信とは、ユーザからのリクエストを受け、インターネット等のネットワークを通じて行う音楽配信である。著作権使用料は、ダウンロード形式による配信か、ストリーム形式による配信かによって、請求方法が変わる。ダウンロード形式の場合、曲別の請求となり、1ダウンロード当りの単価と、ダウンロード数によって使用料が決定する。ストリーム形式の場合は、包括請求となり、そのサービスで得られた収入等によって使用料が決定する。利用楽曲は、J-NOTE というシステムからオンラインで報告する。サーバ経由の商用音楽配信サービスにおいては、これらは正確に行われているといえる。

インタラクティブ配信においては、動画投稿サイトでの音楽著作物を利用した動画の無許可でのアップロード、P2P ファイル共有ソフトを利用した音楽ファイル交換、携帯電話のウェブサイトにおける違法の着うた・着うたフルのアップロードが問題になっている。

動画投稿サイトに関しては、2008年に大手であるYouTubeがJASRAC、イーライセンス、ジャパン・ライツ・クリアランス、ニコニコ動画がJASRAC、イーライセンスといった著作権管理団体と、それぞれ包括契約を交わした。これによって、各団体の管理下にある楽曲を使用した動画については、事前に許可をとることなくユーザがアップロードしても、著作権に関しては処理できるようになった^(注2)。

P2P ファイル共有ソフトにおける音楽著作権の侵害に関しては、Winnyのネットワーク上において無許可で送信可能となっている音楽ファイルが、金額にして4億4千万円分の上るとの試算がある。違法着うた・着うたフルに関しては、1年間で推定ダウンロード曲数が、合わせて4億714万曲との試算がある[12]。

このように、インタラクティブ配信においては、P2Pでの違法流通や海賊版の着うた・着メロなど、多数の楽曲が著作権処理なく違法でやり取りされている状況であるといえる。

3. 音楽著作権使用料徴収への対策

本章では、前章で著作権使用料の徴収・分配精度が低いとして取り上げた、放送、演奏、複合使用のインタラクティブ配信において、現在とられている対策について述べる。

3.1 徴収・分配精度向上のための対策

放送分野では、前章で述べたように、サンプリング調査による放送での利用楽曲報告には、分配の正確性に問題がある。このため、様々な技術を利用して、少ない労力で使用された楽曲を全曲報告することが目指されている。

NHKはベアトシステムを構築して、保存指定番組（全国放送番組のすべてと、本部が制作する一部のローカル番組）の権利情報を作成し、再放送やDVD化等の二次利用のためにすべて保存している。利用楽曲は、このデータによってJASRAC等の著作権管理団体へ全数報告される。在京キー局においては、2008年度中から、オーディオフィンガープリント（AFP）技術による全曲報告が実用化される予定である[13]。AFPとは、音楽の特徴的な部分を選択的に抽出して、数値化する技術であり、音楽によって異なる数値が得られるため、楽曲の特定に使うことができる。AFP技術についてはNTTコミュニケーション科学基盤研究所やグレースノート社などが開発を行っており、テレビ局への導入も始まりつつある。この手法では、事前にCDからAFPを抽出し、データベースを製作する。そして、放送の音源から抽出したAFPをこのデータベースと照合させることで、使用された楽曲をすべて特定し、音楽著作権管理団体へ報告することで、著作権使用料の正確な分配が行えるようになる。詳しくは3.3にて述べる。今後、在京キー局や地方の放送局がこの方式を取り入れていけば、放送における全数報告は解決するものと考えられる。

演奏・上演等における利用に関しては、規模の大きなコンサートや演劇等の利用は正確な報告ができているが、飲食店や、路上などで小規模に演奏されるもの

(注2): 著作権は処理されるが、レコード会社が管理する原盤権などの著作権隣接権はクリアされないため、CD音源をそのまま利用することは不可である。

まで、すべて自主的な報告を期待するのは難しい。しかし、これらは大口のコンサートや演劇等の利用に比べると規模も小さいと考えられ、現状では特に対策は講じられていない。

インタラクティブ配信においては、iTunes 等の音楽配信や通信カラオケ等、サーバ経由で提供される商用サービスは既に十分な精度がある。しかし、P2P によるファイル共有等、一般のネットワークユーザによる、現状では報告に上ってこない水面下の音楽利用が相当規模にのぼると考えられ、これに対して対策が必要である。現状ではネットワーク上を流通する違法コンテンツに対して、次節で述べる JASRAC の違法音楽流通監視システム (J-MUSE) が導入されているが、監視と違法な音楽利用が発覚した場合の警告が中心であり、根本的な解決にはなっていない。

3.2 違法音楽流通監視システム

インタラクティブ配信においては、違法コンテンツ流通対策として、JASRAC の独自検索エンジンである J-MUSE による監視が行われている (図 3)。

J-MUSE では、数々の侵害サイトデータをもとにクロール候補 URL を選定し、Web サイトを巡回する。音楽ファイルが見つければ、その時点でダウンロードし、楽曲が違法コンテンツであるかを判定する。判定は、JASRAC が所有する AFP の DB との照合によって行われる。違法コンテンツが見つければ、プロバイダ責任制限法に基づく削除通知などの処置をとることになる。

J-MUSE については公表されていないが、監視と警告に対する検討例として、P2P ファイル交換ソフトによって著作権侵害を行うおそれのあるインターネットユーザに対し注意喚起活動を実施するとの報告がある [14]。

3.3 オーディオフィンガープリント方式

AFP による楽曲特定技術は、NTT データやグレースノート社等、数社がサービスを提供している。本節では NTT データによるサービスで用いられている NTT コミュニケーション科学基礎研究所が開発した AFP 技術 [15] を例として取り上げる。技術の大枠は各社同じである。

図 4 は、AFP による音楽探索の仕組みの概略図である。まず CD 等の音源から抽出した AFP に、曲名、アーティスト名、などの関連情報を付与したデータベースを作っておく。NTT データでは保有する AFP データベースの規模を公表していないが、放送での使

用楽曲特定に用いられるデータベースは、約 200 万曲規模と推定される^(注3)。放送での使用楽曲特定が実用化されることから、今後も拡充されていくものと考えられる。そして、楽曲を特定したい音源をデコードして、AFP を抽出し、メディア探索エンジンに送信する。メディア探索エンジンは送られた AFP をデータベースと照合し、一致箇所のある AFP をもつ楽曲を特定する。抽出から特定までは数秒以内に可能である。

NTT の手法は、編集や加工に対する高い耐性を実現しており、楽曲に別音声を重ねた場合や、複数の楽曲が混ざり合っている場合でも検出が可能である。放送においては、様々に編集・加工された音楽が利用されるが、開発された技術では高い検出率が期待できる。

AFP を音楽ファイルから抽出することは、コンピュータへ高いスペックを要求しないため、家庭用の

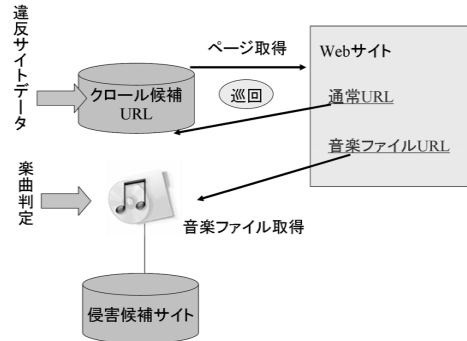


図 3 J-MUSE による違法音楽ファイルの監視
Fig. 3 Surveillance of illegal music files by J-MUSE.

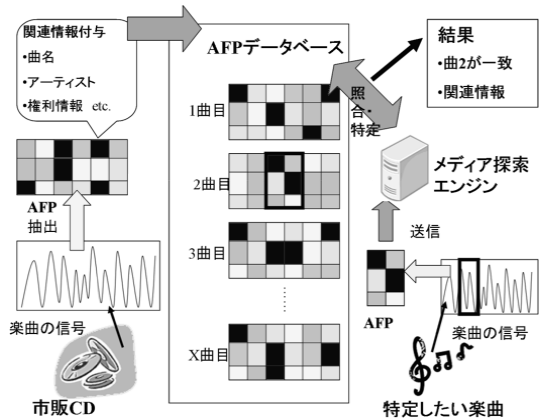


図 4 AFP を用いた楽曲の特定
Fig. 4 Identification of songs using AFP.

(注3): JASRAC の保有する音楽作品データベースに登録されている楽曲は 239 万件である。

パーソナルコンピュータでも十分に可能である。実際に、グレースノート社はパソコン内の楽曲から AFP を抽出し、自社の AFP データベースと照合することで、楽曲名やアーティスト名などのメタデータを音楽ファイルに書き込むサービスを提供している [16]。

4. P2P ネットワークの著作権管理に関する先行研究

P2P ネットワークにおける、音楽ファイルを含むコンテンツの違法流通管理には、いくつかの研究例がある。本章では三つの典型的な研究例の概要を述べる。

4.1 コンテンツ個体化による違法流通防止

コンテンツ自体を一つずつ個体化することで、違法な流通を防ぐ方法である。文献 [2] で提案されている CoFIP (Content FIngerPrinting) という方式では、配信されるデジタルコンテンツをユーザごとに個別化し、P2P 等のネットワーク上にコンテンツが流出した際に、それがどのユーザのものであるかの特定を可能にする。そのために、コンテンツをオブジェクトごとに分割し、これらオブジェクトの同一コピーを複数用意する。それぞれのコピーに異なる電子透かしを挿入し、暗号化する。ユーザには、全員に異なるオブジェクトを組み合わせたコンテンツと、そのコンテンツのみが復号できる鍵を送信することによって、コンテンツの個別化を実現する。もしネットワーク上へのコンテンツの流出が見つければ、電子透かしを読み取ることで、誰の復号鍵でデコードされたものからコピーされたものなのかを追跡することができ、ユーザによるコンテンツの違法配信を監視することが可能になる。一方、電子透かしを埋め込み、それを読み取るには、時間と手間がかかるというデメリットがある。

4.2 DRM の拡張による違法流通防止

DRM を用いてコンテンツの利用を許可された者だけに制限することで違法流通を防ぐ方法である。文献 [3] では、個人のコンテンツを管理しながら配信するために、商用コンテンツに用いられている既存の DRM の仕組みを拡張する方法が述べられている。

この方式では、ユーザ、コンテンツ、デバイス、コンテンツ権利等を、すべて信頼されたオーソリティに登録することを義務付ける。更にすべての商用コンテンツと、既に登録された個人コンテンツのフィンガープリントをデータベース化する。個人のコンテンツを新たに配信するときは、フィンガープリントをデータベースと照合することで、既存コンテンツを自分の

ものとして配信することを防ぐ。照合に失敗する場合には、真のコンテンツの所有者によってコンテンツをデータベースに登録される前に別のユーザが自分のコンテンツとして配信するために照合した場合と、同じコンテンツであっても抽出されたフィンガープリントが異なる場合の 2 通りが考えられる。前者の場合、いったんは真の所有者でないユーザのものとしてコンテンツが登録され、配信されてしまうが、コンテンツからオーソリティを通じてユーザ情報を迎えることができるため、違法な配信者の追跡が可能となる。後者の場合、同じコンテンツでフィンガープリントが異なるということは、元コンテンツと比べて品質が著しく劣化している等の理由が考えられる。よって配信されたとしても利用に耐えるものではなく、あまり問題ないと考えられる。この方式には一方で、コンテンツの登録の煩雑さや、データベースの管理等の問題がある。

4.3 著作権処理促進による違法流通防止

ネットワークで配信されるコンテンツの著作権処理を促すことで、違法流通を防ぐ方法である。Music2Share [4] は楽曲ファイルを、対価の支払いや品質を保証した上で、P2P ネットワークにおいて共有しようという提案である。このシステムでは、個人間で共有する商用楽曲を特定するために、正規の配信プロバイダーによって添付された証明書を用いる。証明書が失われたものや、もともと付属していないファイルについては、あらかじめ埋め込まれている電子透かしを用いて楽曲を特定する。しかし、電子透かしがすべての楽曲に埋め込まれるようになるまでには時間がかかるため、埋め込まれていない場合は、楽曲から抽出される AFP によって特定を行う。システムにアップロードされた楽曲は暗号化され、ダウンロードしたいユーザは、復号鍵を購入することで、使用料を支払うこととなる。

この方式は、P2P ネットワークでも権利処理を行った上で楽曲共有を行うことを可能にする。しかし、専用のネットワークで行うことが前提なので、違法流通を防ぐには、このネットワークに多数ユーザを集める必要が生じる。

5. P2P 著作権処理方式とプラットフォーム

本章では、P2P ネットワークにおける音楽コンテンツの違法流通に対して、現状行われている監視や警告と言った予防措置ではなく、ネットワークへの楽曲のアップロード・ダウンロードに著作権処理を行うこと

により、ユーザ間で合法的な楽曲共有を可能とする方式を提案する。

楽曲の特定には、現在放送での使用楽曲特定において実用化されつつある AFP 技術を用いる。また、対象は商用音楽コンテンツとし、一般ユーザが製作した私的な音楽ファイルは範囲外とする。

5.1 P2P 著作権処理の所要機能

P2P ネットワークにおいて楽曲を著作権処理して流通させるには、以下の五つの機能が必要である。

- (1) 楽曲の特定
- (2) ネットワークへ流通可能かの権利照会
- (3) 楽曲のアップロード・ダウンロード数のカウント
- (4) 著作権使用料等の請求
- (5) 集めた使用料と利用楽曲数のカウントを著作権管理団体等へ委託

AFP 技術を利用してこれらを実現する方法を具体化すると、以下のようになる。

(1) 楽曲の特定

ユーザ間で流通する楽曲の著作権処理を行うためには、アップロード、ダウンロードされる楽曲を正しく特定する必要がある。しかし、オーディオファイルのタイトルやメタデータは簡単に変更できるので、楽曲特定の手段として信頼度が低い。

そこで、提案方式では楽曲の特定に AFP 技術を利用する。そのために、楽曲をデコードして AFP を抽出し、データベースへ送信する。AFP 抽出自体は高いスペックを要求されないため、ユーザのコンピュータで行うことが可能である。

送信された楽曲の AFP を AFP データベースへ照合することにより、楽曲を特定する。AFP データベースは放送での利用楽曲特定のためのものが拡充されつつあり、これを共有することが考えられる。

(2) ネットワークへ流通可能かの権利照会

アップロード時にインタラクティブ配信が可能であるかを照会する。具体的には、JASRAC 等の著作権団体にインタラクティブ配信の支分権が委託されているかどうかを調べる。権利が委託されている楽曲であった場合、アップロード許諾が出される。

AFP が一致する楽曲がデータベースに存在するが、インタラクティブ配信に関する支分権が委託されていない場合、アップロードは拒否される。また、ユーザによるオリジナル楽曲や、会議での発言を録音したもなどは、AFP データベースにもともと登録されてい

ない。それらは、アップロードの許諾の必要ないオーディオファイルとみなされる。

(3) 楽曲のアップロード・ダウンロードのカウント
著作権管理団体へ報告するために、P2P ネットワークでの楽曲のアップロード・ダウンロードをカウントする。提案方式では、アップロード時は楽曲の AFP を照合し、アップロード許諾を出したときにカウントする。

(4) 著作権使用料等の請求

ダウンロードしたオーディオファイルが著作権処理の必要な楽曲ファイルであった場合、ユーザに楽曲の著作権使用料を請求する。

(5) 集めた使用料と利用楽曲数のカウントを著作権管理団体等へ委託

ユーザから受けたそれぞれの楽曲のアップロード報告・ダウンロード報告と、受け取った著作権使用料を集計して著作権管理団体へ送り、利用された楽曲著作権処理を実現する。

5.2 著作権処理プラットフォーム

P2P ネットワークに著作権処理機能をもたせるためには、前節の各機能を手順に従って実行するプラットフォームが必要である。本論文では、これを著作権処理プラットフォームとして提案する。プラットフォームには著作権管理サーバを置き、クライアントとなる P2P ユーザのコンピュータ（以下、ユーザ PC）と連携して著作権処理を実行する。クライアント機能を実現するアプリケーションはあらかじめユーザ PC に配布し、インストールしておく必要がある。

なお、P2P の著作権処理という目的に対して、既存 P2P に機能を外付けするのではなく、Music2Share [4] のように著作権処理機能を備えた新規 P2P ネットワークを開発する方法も考えられる。しかし、新規 P2P は利用が一般化するとは考えにくいいため、本論文では既存の各種 P2P ネットワーク上のプラットフォームとして著作権処理機能を実現することを目標とした。

著作権処理プラットフォームには、上記 (1) から (5) に加え、次のプラットフォーム機能が必要となる。

(6) AFP 照合のための連携機能

楽曲を特定するために、ユーザ PC には AFP 抽出・送信機能が、サーバ側には AFP 照合機能が必要である。

(7) ペイメント機能

P2P ユーザから利用楽曲の著作権使用料を請求・徴収するためにペイメント機能が必要である。強制的に

ペイメントを行わせるためには、著作権使用料を払わないと楽曲を再生できないようにすることが望ましい。その方法として、タグ方式と DRM 方式が考えられる。[タグ方式]

アップロード時に著作権処理が必要なコンテンツにタグを付け、ダウンロード時にタグを検出するといった再生処理を禁止し、ユーザがペイメントを行ったことを確認した上で、再生禁止を解除する方式である。[DRM 方式]

既存 DRM には種々の実装形態があるが、いずれもコンテンツを暗号化し、ユーザは復号鍵を購入することによってペイメントを行う方式になっている。この方式を流用して、著作権保護が必要なコンテンツは暗号化し、ユーザは復号鍵を購入しないと（著作権使用料を払わないと）コンテンツを復号できないようにする方式である。この方式では、暗号化がタグの役割を果たし、再生の禁止・解除は暗号化・復号に対応する。

5.3 著作権処理プラットフォームの処理フロー

著作権処理プラットフォームの処理フローは、ペイメント機能の実現方式によって大きく異なるため、以下、タグ方式と DRM 方式に分けて説明する。

5.3.1 タグ方式での処理フロー

図5はアップロード時の流れである。アップロードユーザはオーディオファイルの AFP を抽出して著作権管理サーバに送信する。AFP データベースとの照合の結果、著作権管理団体にインタラクティブ配信の支分権が委託されていた場合は、アップロード許諾が出される。アップロード許諾を出すときに、著作権管理サーバは AFP 照合で特定された楽曲 ID を記録し、アップロード数をカウントする。ユーザ PC はオーディオファイルに著作権処理対象楽曲のタグと楽曲 ID をつけた上で P2P ネットワークにアップロードする。

図6はダウンロード時の流れである。ユーザ PC はまずダウンロードされたオーディオファイルに対してタグの有無を調べる。タグが付いていた場合は著作権処理が必要であるので、いったん楽曲の再生を禁止し、ユーザにペイメントを促す。ユーザがペイメントを行うと、ユーザ PC は著作権管理サーバに楽曲 ID を送信する。著作権管理サーバは楽曲 ID を記録し、ダウンロード数をカウントした上で、再生禁止解除をユーザ PC に送信する。なお、楽曲アップロード時に著作権処理が必要なコンテンツにはそれを示すタグとともに楽曲 ID を付与しているので、ダウンロード時は楽曲 ID をサーバに送ることで楽曲を特定でき、AFP 照合

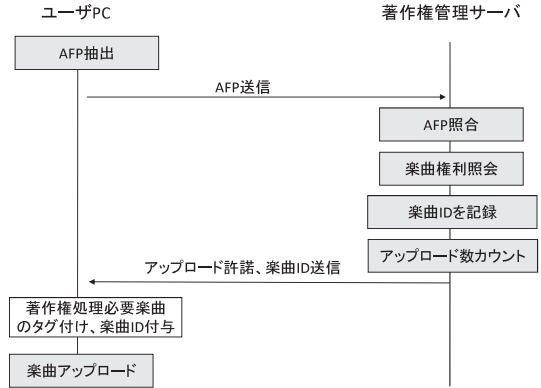


図5 楽曲のアップロード時の処理手順
Fig. 5 Procedure at song uploading.

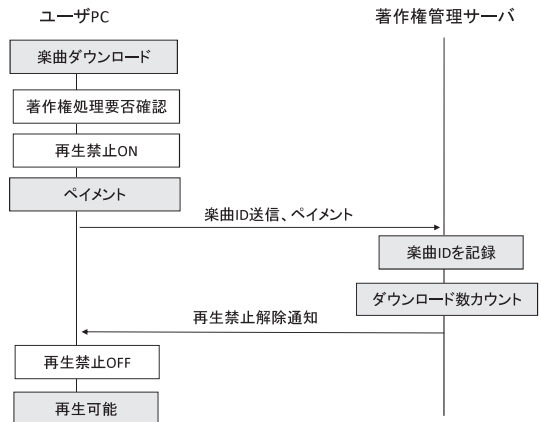


図6 楽曲のダウンロード時の処理手順
Fig. 6 Procedure at song downloading.

は不要である。

5.3.2 DRM 方式での処理フロー

DRM 方式を用いる場合の処理フローを図7、図8に示す。図7はアップロード時のフローである。図5の場合と同様に、まず AFP 送信と照合を行う。ユーザ PC は、アップロード許諾を受けると楽曲を DRM サーバに送信し、暗号化されたものを受け取る。このとき DRM サーバはアップロード楽曲を記録し、アップロード数をカウントする。これらの処理を踏まえて、楽曲は P2P ネットワークで共有可能となる。

図8はダウンロード時のフローを示す。ネットワークからオーディオファイルをダウンロードしたユーザは、暗号化された楽曲を再生するために DRM サーバから復号鍵を購入することで著作権使用料を支払う。購入履歴をもって楽曲のダウンロードがカウントされ

る。DRM 方式においても、鍵購入の過程で楽曲は特定されるので、ダウンロード時の AFP 照合は不要である。

5.4 両方式の比較

タグ方式の課題は、タグの付与やタグによる再生禁止・解除を実現する方式と、ユーザにペイメントを行わせる方法である。タグ付与機能や再生禁止・解除機能はクライアント機能として実現するので、ユーザ環境に依存せずにタグ付けや再生制御を行う方式を新たに開発する必要がある。このため、著作権処理プラットフォームの開発規模が大きくなる可能性がある。ペイメントについては、楽曲個々の著作権使用料は数円程度であるので、個々に徴収するのは現実的ではなく、例えば月末にまとめて請求し、プロバイダ料金に加算して徴収するといった方法が考えられる。

一方、DRM 方式では、現行の商用音楽配信サービスで用いられている暗号化と復号鍵購入による方式を流用できるので開発量は少なく済むが、現行 DRM

の諸方式には互換性がないため、採用した DRM の種類によって利用できる再生機器等が限定される可能性がある。更に、アップロード時に一度 DRM サーバに楽曲を送信し、暗号化されたものを受け取る必要があるため、アップロードにおけるユーザ待ち時間はタグ方式より長くなる。

このように、両方式はそれぞれ利害得失がある。両方式による著作権処理プラットフォームの比較評価を表 1 に示す。DRM を用いないことでユーザ環境を限定しないタグ方式が理想であるが、現実にはユーザ環境に依存せず再生制御を行うことは困難であると予想され [17]、DRM 方式がある程度要求を満たした上で実現可能性も高い方式であるといえる。

一方、Music2Share のような著作権処理機能付きの新規 P2P を開発する場合と比較すると、ユーザの取り込みやすさは提案の両方式の方が高いといえる。しかし、ユーザに対する著作権処理の強制力は、提案の両方式では著作権処理プラットフォームのクライアントアプリケーションをユーザにインストールさせる必要があり、P2P ユーザがそれを拒む可能性を勘案すると、強制力は新規 P2P より弱いといえる。

以上、提案するタグ方式と DRM 方式のプラットフォームについて評価を行ったが、これはユーザがプラットフォームを利用する（クライアントアプリケーションをインストールする）ことが前提である。利用しないユーザには、例えば著作権法に罰則規定を設けるなどして違反に対する警戒意識を高めることでプラットフォームの利用を促す必要がある。プラットフォームを利用すれば、タグ方式においてタグが付いていないファイルが流通することはない。しかし、DRM 方式では、プラットフォームが採用した DRM に該当するファイルでない場合は著作権処理ができないため、プラットフォームが複数の DRM をサポートする等の対処が必要である。

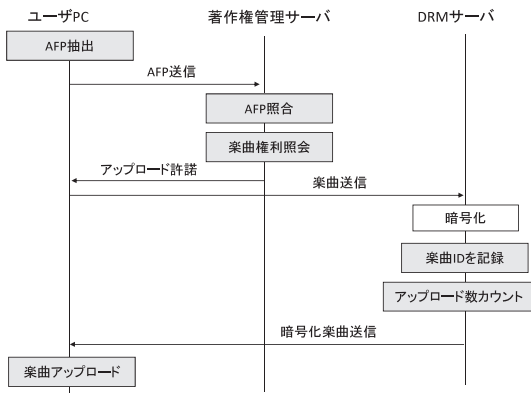


図 7 DRM 方式での楽曲アップロード
Fig. 7 Song uploading in DRM method.

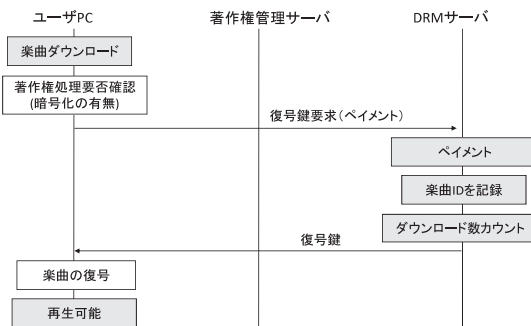


図 8 DRM 方式での楽曲ダウンロード
Fig. 8 Song downloading in DRM method.

表 1 著作権処理プラットフォームの評価
Table 1 Evaluation of copyright processing platform.

	汎用性	ユーザの取り込み易さ	ユーザに対する強制力	ペイメント	開発規模	アップロード時間	ダウンロード時間
タグ方式	高い	比較的容易	弱い	通信料加算等	小さくない	比較的短い	比較的短い
DRM方式	高くない	比較的容易	弱い	解決可能	小	比較的長い	比較的短い

6. リアルタイム AFP 照合システムの性能評価

前章で提案した P2P 著作権処理プラットフォームでは、楽曲のアップロードに際して楽曲特定のために AFP を用いる。放送の場合と異なり、P2P ではリアルタイムに楽曲を照合する必要がある。すなわち、楽曲をデコードして AFP を抽出し、これを AFP データベースに照合することで楽曲を特定する処理を、P2P ユーザに不快感をもたらさない程度の時間内に抑えるように設計する必要がある。

本章では、実装に先立ち、AFP 照合システム構成についてモデル化し、モデルに基づく解析的な性能評価を行う。具体的には、(1) 照合システムにおけるサーバ台数と分散処理構造のモデル化、(2) モデルに基づく解析的な性能評価を行う。性能評価結果から、目標とする照合処理時間を満たすためのシステム構成の指針を示す。

6.1 AFP による楽曲特定に要する時間要素

AFP 技術を利用してユーザの利用楽曲を特定するためには、①楽曲デコード時間、②AFP 抽出時間、③AFP 照合時間が必要である。①②はユーザ PC での処理、③はサーバでの処理である。これら 3 要素の総和が AFP による楽曲特定のためのユーザの待ち時間となる。

3 要素のうち、楽曲デコード時間は楽曲の長さや再生環境 (CPU 速度、メモリ容量、圧縮フォーマットや圧縮レート、デコーダソフトの実装方法など) に依存するが、文献 [18] には 4.5 分の楽曲のデコード時間は 4.4 秒前後との報告があるので、本論文では楽曲デコード時間を 5 秒程度と仮定する。

AFP 抽出時間については、一般に、楽曲全体から AFP サンプルを抽出する必要はなく、15 秒間のサンプルを 3~6 箇所取り出せば、楽曲のバージョン違い等も含め詳細に判別することが可能である。AFP 抽出は高速で行われ、抽出時間はデコード時間に対して十分短く無視できる。

AFP 照合時間は企業秘密の性能データであり、公表されていない。そこで公知情報から導くこととする。NTT データの報道発表資料 [19] によると、同社のサービスでは、特徴情報データベースは 2000 時間相当であり、特徴情報の問合せ 100 万分を 1 日で処理すると記載されているので、これを算出の根拠とする。今、AFP データベース規模を 200 万曲 (注 3) と

すると、4.5 分の楽曲では 15 万時間に相当する。一方、AFP 抽出は 4.5 分の楽曲から 15 秒間のサンプルを 6 箇所取り出すと 90 秒間となる (文献 [19] では音と映像の双方で照合を行っているが、音と映像の照合時間はほぼ同等であるので、ここでは音だけですべての処理時間を要すると考える)。これらの条件で 1 回の AFP 照合の所要時間を計算すると、

$$(150 \text{ kh} \div 2 \text{ kh}) \times (90 \text{ s} \div 1 \text{ M min}) \times 1 \text{ day} \times 1/2 \\ = 4.86 \text{ s}$$

となり、約 5 秒となる。そこで、本論文では AFP 照合時間は約 5 秒と仮定する。

以上から、AFP による楽曲特定には、デコードに 5 秒、AFP 照合に 5 秒を要し、最低でも 10 秒程度かかることになる。

6.2 AFP 照合システムにおける要求条件

実際にシステムを構成する場合は、楽曲のデコードはユーザ PC 側で行うので、照合要求が増えても待ち時間は発生しないが、AFP 照合はサーバ側で集中的に行うので、照合要求が増えると待ち時間が伸びる。すなわち、照合要求が少ないときは、楽曲特定に伴うユーザ待ち時間は 10 秒 (デコード時間 5 秒 + 照合時間 5 秒) 程度であるが、照合要求が増えるとサーバでの照合待ちによりユーザ待ち時間が増大することになる。

アップロード時に許容されるユーザ待ち時間に明確な基準があるわけではないが、例えば、ウェブサイトを構築する際の経験則に「8 秒ルール」[20] がある。利用者がサイトを訪れてから、ページ全体の内容が表示されるまでに 8 秒以上を要すると、利用者は待ち切れずに他のサイトに行ってしまうというものであるが、今回の場合は、照合待ち時間がゼロであってもデコード時間と照合時間だけで 10 秒必要であり、既に「8 秒ルール」を上回っている。

デコード時間や照合時間の短縮は今後の技術進歩を待たなければならず、照合システムとしてできることは照合待ち時間の短縮だけである。しかし、これはコストとのトレードオフになる。そこで、ユーザ待ち時間の目標値はシステム設計者が決めることとし、本論文では与えられた目標時間を達成するのに必要なサーバ台数や分散形態を求めるトラヒック設計法を与え、計算例からシステム構成上の指針を示すこととする。

なお、システム設計の結果として待ち時間の目安をあらかじめユーザに提示できるので、ユーザはいつ終

わるとも分からない状態で待たされることがなくなり、不快感を軽減できると期待できる。

以下の節では、AFP 照合サーバにおいて、照合要求の発生率に対する照合処理時間（照合待ち時間 + 照合時間）の特性評価を行う。目標とするユーザ待ち時間を T 秒とすると、照合処理時間は $T - 5$ 秒程度に抑える必要がある。そこで、想定される AFP 照合システムの諸形態に対して性能解析を行い、照合処理時間を評価する。

6.3 AFP の照合方法

AFP の照合方法を図 9 に示す。P2P ネットワークにおける楽曲特定に必要な楽曲数を 200 万曲と仮定すると、AFP 照合サーバは楽曲から抽出された AFP を蓄積された 200 万曲の AFP と順次照合することになる。照合方法としては、最初にヒットした（AFP が一致した）楽曲で利用楽曲を特定してしまうことも考えられるが、本論文では一致箇所が見つかったも最後の楽曲まで探索を継続する（全曲探索する）ものとする。また、複数の楽曲と一致する場合の扱いや、ユーザが利用する楽曲から何個の AFP を抽出して照合するのかという問題は、アプリケーション側の判断となるので、本論文では単に照合要求の発生率に対する照合処理時間の変化を全曲探索の仮定のもとに評価することとする。

モデル化の前提条件として、(1) 探索時間は照合対象となる楽曲数ではなく、AFP データベースの大きさ（総演奏時間）に比例する、(2) サーバ 1 台で全曲探索する処理時間は H 秒とする。

6.4 AFP 照合システムのモデル化

AFP 照合を効率的に行うためには、複数台のサーバを利用して分散処理を行うことが考えられる。本節では、並列処理や負荷分散を行う場合について、照合システムにおけるサーバ台数と分散処理構造のモデル化を行う。

6.4.1 並列処理

サーバ台数に関しては、200 万曲との AFP 照合を 1 台のサーバで処理することが処理能力的に厳しい場合は、複数のサーバで並列処理することになる。並列処理のイメージを図 10 に示す。

並列処理を行う場合、AFP データベースを演奏時間で N 等分し、 N 台のサーバで並列に探索すると 1 台当りの時間は H/N となる。また、各サーバの処理時間は等しいと仮定し、AFP を同報する処理（AFP の照合要求を N 個コピーして各サーバに同報する処

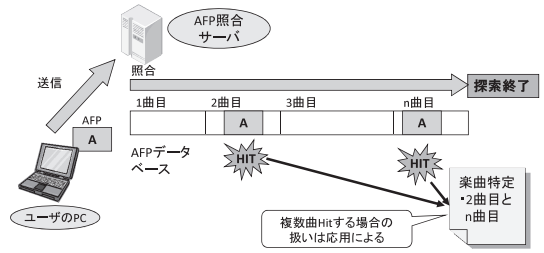


図 9 AFP の照合方法
Fig. 9 AFP matching method.

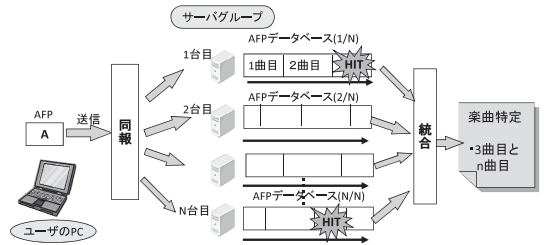


図 10 並列処理モデル
Fig. 10 Parallel processing model.

理) や結果を統合する処理（各サーバからの N 個の照合結果を統合する処理）に要する時間が検索時間に比べ無視できるとすると、全体の処理時間も H/N となる。

6.4.2 負荷分散

並列度が大きくなると、同報や統合のオーバーヘッドが無視できなくなる場合がある。そこで、 N 台で並列処理するサーバグループ（以下サーバ G ）を一組として、それらが k 組ある場合のサーバ G 間での負荷分散を考える。サーバ G 数が k 個であると、サーバ総数は kN となる。負荷分散のイメージを図 11 に示す。

負荷分散を行うためには、クライアントからのアクセス要求を束ね、それらを各サーバ G に振り分ける機能が必要であり、それを実現する振り分け装置が必要になる。

振り分け方法としては、ランダム方式、最小コネクション数 (Least Connection) 方式、ラウンドロビン方式、等がある [21]。ランダム方式は、照合要求を k 個のサーバ G にランダムに振り分ける方式である。最小コネクション方式は、各サーバ G のアクティブコネクション数（系内呼数）を数え、それが最小のサーバ G にアクセスする方式である。アクティブなコネクション数は、サーバ G 内で待ち合わせ、または探索中の照合要求数に対応する。したがって、各サーバ G

への割り当て可能なアクティブコネクションを1に制限すると、サーバGが空くまで振り分け装置内で要求を待たせる方式となる。一方、ラウンドロビン方式は、アクセス要求を順次1番サーバG、2番サーバGに送り、k番サーバGの次は1番サーバGに戻る巡回型の振り分け方式である。

今回のモデルでは、振り分け装置で各サーバグループ（の入口の同報ノード）にAFPの照合要求を振り分けることになる。

6.4.3 負荷分散型 AFP 照合処理の待ち行列モデル

クライアントからの照合要求の発生をポアソン生起とすると、サーバ処理時間は一定(H)と仮定しているので、ランダム方式の待ち行列モデルはk個のM/D/1モデル、最小コネクション方式の待ち行列モデルは、サーバG数をkとすると、M/D/kモデルとなる。ラウンドロビン方式では、照合要求はk個のサーバGに順次送られるので、要求の発生がポアソン生起であると、各サーバGへの要求の到着はk次アーラン到着(Ek)となり、待ち行列モデルはk個のEk/D/1となる。負荷分散方式と待ち行列モデルの関係を表2に示す。

なお、サーバ処理時間が一定であるDサービスの場合、複数サーバでもサービスの追い越しが無いため、

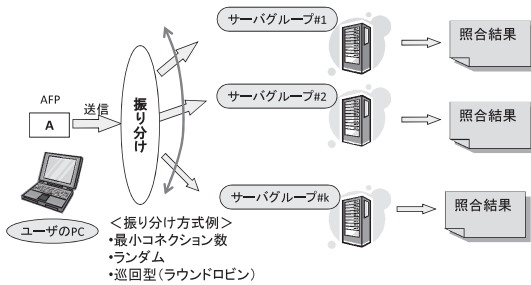


図 11 負荷分散モデル
Fig. 11 Load distribution model.

表 2 負荷分散方式と待ち行列モデル

Table 2 Load distribution method and queuing model.

振り分け方式	方式概要	待ち行列モデル
ランダム	ランダム振り分け	K個のM/D/1
最小コネクション (Least Connection)	コネクション数(系内呼数)が最小のサーバGへ振り分け	M/D/k
ラウンドロビン	巡回型振り分け	K個のEk/D/1

M/D/kとEk/D/1は同じ特性となる。

最小コネクション方式において割り当て可能アクティブコネクションに制限を設けない場合は、k個の*/D/1待ち行列への最小系内呼数振り分けとなる。すなわち、最も待ち合わせが少ないサーバGに照合要求が送られる。コネクション数制限のない最小系内呼数振り分けは、厳密には、系内呼数が同じ時の残余サービス時間を考慮していないだけM/D/kより待ち時間特性が悪くなる。なお、系内呼数が同じサーバGがあるときには、その中で最も過去に割り当てたサーバGへ新たな呼を割り当てることにすれば、先着順サービス(FIFO)となるので、M/D/kと同じになる。

6.5 待ち行列モデルによる評価式

表2の各負荷分散方式に対応するM/D/1, Ek/D/1, M/D/kの待ち行列モデルを図12に示す。なお、並列処理は処理時間h = H/NのM/D/1モデルとなる。

以下に、各モデルの待ち時間分布のラプラススチェルチェス変換(LST)、系内時間の平均、分散、平方変動係数の評価式を示す[22], [23]。ここに、系内時間は待ち時間と照合時間の和であり、照合処理時間に相当する。

評価の目的はユーザ待ち時間をT秒以下(照合処理時間をT-5秒以下)に抑えることであるので、それに適合する方式はどれかという観点で評価する必要がある。そこで、系内時間の平均、分散、平方変動係数を求める。これだけでは上限値が分からないので、更に系内時間分布の95%値を求める。

6.5.1 M/D/1モデル

照合要求の到着率を平均λのランダム到着、サービス時間は単位分布h(一定値)、サービス規律は先着順

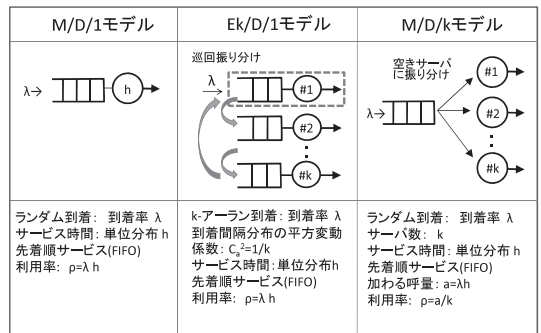


図 12 待ち行列モデル
Fig. 12 Queuing model.

サービス (FIFO) とすると, 利用率が $\rho (= \lambda h)$ における待ち時間分布と系内時間は以下ようになる.

[待ち時間分布の LST]

$$\omega_{M/D/1}(\theta) = \frac{(1-\rho)\theta}{\theta - \lambda(1-e^{-h\theta})} = \frac{(1-\rho)h\theta}{h\theta - \rho(1-e^{-h\theta})} \quad (1)$$

[系内呼数]

$$\text{平均: } E[T_{M/D/1}] = \left(\frac{\rho}{2(1-\rho)} + 1 \right) h \quad (2)$$

$$\text{分散: } \text{Var}[T_{M/D/1}] = \frac{(4-\rho)\rho}{12(1-\rho)^2} h^2 \quad (3)$$

$$\text{平方変動係数: } Cv^2[T_{M/D/1}] = \frac{(4-\rho)\rho}{3(2-\rho)^2} \quad (4)$$

6.5.2 $E_k/D/1$ モデル

照会要求の到着は, 到着率 λ の k 次アーラン到着, サービス時間は単位分布 h , サービス規律は先着順サービス (FIFO) とすると, 利用率が $\rho = \lambda h$ における待ち時間分布と系内時間は以下ようになる.

[待ち時間分布の LST]

$$\begin{aligned} \omega_{E_k/D/1}(\theta) &= \frac{(\lambda k)^k (1-\rho)\theta}{\lambda((\lambda k)^k e^{-h\theta} - (\lambda k - \theta)^k)} \prod_{i=1}^{k-1} \frac{\theta_i - \theta}{\theta_i} \\ &= \frac{(\rho k)^k (1-\rho)h\theta}{\rho((\rho k)^k e^{-h\theta} - (\rho k - h\theta)^k)} \prod_{i=1}^{k-1} \frac{\theta_i - \theta}{\theta_i} \quad (5) \end{aligned}$$

ただし, θ_i は次の方程式の $(k-1)$ 個の複素根 ($\text{Re}\theta_i > 0$) である.

$$(k\lambda)^k e^{-h\theta} - (k\lambda - \theta)^k = 0 \quad (6)$$

[系内時間]

$$\begin{aligned} \text{平均 } E[T_{E_k/D/1}] &= \frac{(\rho^2 - 1)k + 1}{2\rho(1-\rho)k} h + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{\theta_i} \\ &= E[T_{M/D/1}] - \frac{(1-C_a^2)}{2\rho(1-\rho)} h + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{\theta_i} \quad (7) \end{aligned}$$

分散:

$$\begin{aligned} \text{Var}[T_{E_k/D/1}] &= \text{Var}[T_{M/D/1}] \\ &- \frac{(k-1)((6\rho^2 - 4\rho + 1)k + 8\rho - 5)}{12(1-\rho)^2 \rho^2 k^2} h^2 - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{\theta_i^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Var}[T_{M/D/1}] \\ &- \frac{(1-C_a^2)((8\rho - 5)C_a^2 + 6\rho^2 - 4\rho + 1)}{12(1-\rho)^2 \rho^2} h^2 \\ &- \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{\theta_i^2} \quad (8) \end{aligned}$$

平方変動係数:

$$Cv^2[T_{E_k/D/1}] = \frac{\text{Var}[T_{E_k/D/1}]}{E[T_{E_k/D/1}]} \quad (9)$$

6.5.3 $M/D/k$ モデル

照会要求の到着率を平均 λ のランダム到着, サーバ数を k , サービス時間は一定値 h の単位分布, サービス規律は先着順サービス (FIFO) とすると, 利用率が $\rho = \lambda h/k$ における待ち時間分布や系内時間の特性量は $E_k/D/1$ の特性量と同一になる. これは, 複数サーバでもサービス終了順序の逆転が生じない単位分布サービスの特徴である.

6.6 評価結果

並列処理と負荷分散処理の効果を, 待ち行列モデルの評価式を用いて評価した結果を述べる. 並列処理の効果については並列処理台数 N と平均系内時間の関係, 負荷分散の効果についてはラウンドロビン (巡回型) の場合のサーバ数 k と系内時間の平均及び変動係数の関係を以下に示す. 更に, 並列処理と負荷分散を併用する場合については, N と k の種々の組合せに対する平均系内時間と系内時間分布の 95% 値を示す.

6.6.1 並列処理の効果

サーバの処理時間 H で正規化した $M/D/1$ の平均系内時間特性を図 13 に示す. 横軸がサーバ利用率

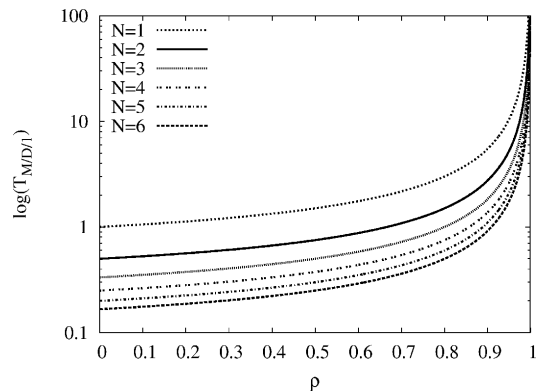


図 13 $M/D/1$ の平均系内時間 ($h = H/N, H = 1$)
Fig. 13 Mean response time of $M/D/1$ ($h = H/N, H = 1$).

$\rho(= \lambda h)$, 縦軸が平均系内時間 T である。サーバ数が N になると, サーバ処理時間は $h = H/N$ となり, 平均系内時間は $1/N$ となる。6 台のサーバを負荷分散しないで, 並列処理した場合 ($N = 6, k = 1$) が図 13 の下の線に相当する。

6.6.2 巡回型負荷分散の効果

ラウンドロビン (巡回型) の負荷分散として, $Ek/D/1$ (及び $M/D/k$) の平均系内時間と系内時間の変動係数を図 14, 図 15 に示す。横軸がサーバ利用率 ρ , 縦軸がそれぞれ系内時間の平均と変動係数である。図 14 はサーバ G の処理時間 H/N で正規化している。6 台のサーバをそれぞれ独立に負荷分散した場合 ($N = 1, k = 6$) が図 14 の下の線に相当する。サーバ G 数 k が増えると, 系内時間及びその変動係数は小さくなる。すなわち, 巡回型 (または Least Connection 型) の負荷分散を行った方が系内時間は

短く (図 14), ばらつきも少ない (図 15) ことが分かる。

なお, 図 14, 図 15 は H/N で正規化しているので, ランダム振り分け型の負荷分散 (k 個の $M/D/1$) は ρ が同じならサーバ G 数 k によらず同じ $k = 1$ のグラフになる。すなわち, サーバ G 間の負荷分散としては, ランダムよりも巡回型 (または Least Connection 型) の方が系内時間は短いといえる。

6.6.3 並列処理と分散処理の効果

並列処理と負荷分散を併用し, 並列度 N と負荷分散数 k の組合せ (N, k) を変えた場合の平均系内時間をサーバ処理時間 H で正規化して示したのが図 16 である。横軸はサーバ利用率 ρ , 縦軸は平均系内時間を表す。組合せはサーバ総数 $N \times k$ が一定となるように, (1,6), (2,3), (3,2), (6,1) とし, 比較対象として $N = k = 1$ の場合も併記している。 $N \times k$ が一定のとき, システム全体への到着率が同じなら各サーバの利用率 ρ は同じになるので, 各方式に対して同じ ρ の平均系内時間を比較している。

系内時間特性は (6,1), (3,2), (2,3), (1,6) の順に特性が良好であり, 並列・分散処理を行わない (1,1) に比べて高負荷時の特性が改善されている。総サーバ台数 ($N \times k$) を一定とすると, 負荷分散を行わず ($k = 1$), 並列処理だけを行う場合が, 最も系内時間特性が良いといえる。

図 17 は, Martin の近似式 (文献 [23](10.106) 式) による系内時間分布の 95% 値を示す。横軸がサーバ利用率 ρ , 縦軸が 95% 値である。縦軸は照合時間 H (200 万曲の AFP との照合時間 = 5 秒) で正規化しているので, 例えば目盛り 1 は 5 秒に相当する。なお,

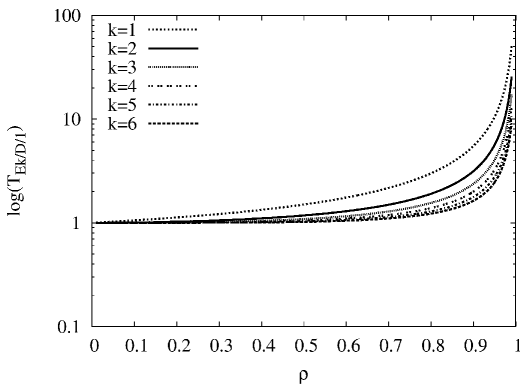


図 14 $Ek/D/1$ (または $M/D/k$) の平均系内時間
Fig. 14 Mean response time of $Ek/D/1$ (or $M/D/k$).

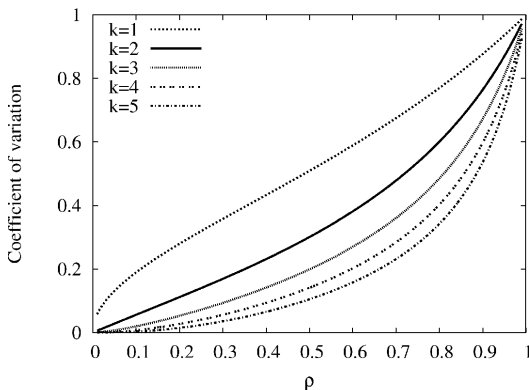


図 15 $Ek/D/1$ (または $M/D/k$) 系内時間の変動係数
Fig. 15 Coefficient of variation of $Ek/D/1$ (or $M/D/k$).

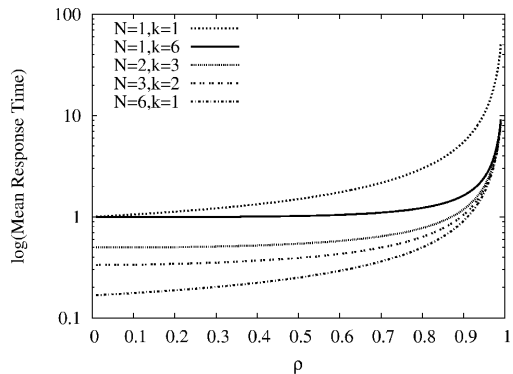


図 16 N, k の組合せによる平均系内時間の比較
Fig. 16 Comparison of response time.

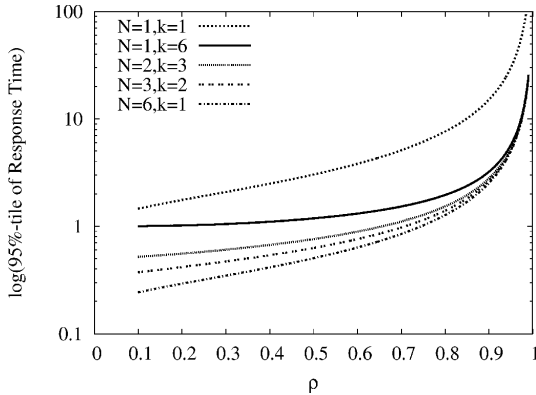


図 17 系内時間分布の 95 百分値
Fig. 17 95 %-tile of response time.

系内時間分布の 95 百分値は (平均 + 2 × 標準偏差) で近似している。

95 百分値においても, (6,1) が最も特性がよく, (1,1) が最も悪い。

サーバ使用率 $\rho = 85\%$ ^(注4)での系内時間 (照合待ち時間 + 照合時間) を見ると, (6,1) では 8 秒以下, (1,6) でも 12 秒以下であるが, (1,1) では 50 秒程度になることが分かる。すなわち, 負荷分散を行わずサーバ 6 台で並列処理すれば, 照合処理時間を 8 秒程度以下 (ユーザ待ち時間 13 秒程度以下) に抑えることが可能になる。

上記の結果は, 負荷分散を併用せず, 並列処理だけで照合した方が照合遅延時間は小さいことを意味する。しかし, 並列処理のオーバーヘッドは照合要求を N 個コピーして同報し, 各サーバからの N 個の照合結果を統合する処理であるので, 1 個の照合要求を一つのサーバ G へ振り分けるだけの負荷分散処理のオーバーヘッドとは質的に異なる。したがって, オーバーヘッドが無視できない場合は負荷分散の優位性が増してくる。

AFP サンプルのサイズは, 文献 [25] によれば「50 ms あたり VQ サイズ 256 の量子化 (つまり 1 バイト) を行った」とあるので, 1 秒当り 20 バイトとなる。本論文では 1 曲当り 90 秒間の AFP サンプルを抽出するので 1800 バイトとなり, この程度のサイズの AFP コピーを同報する時間は無視できる程度に短い。また, 照合結果の統合処理時間が秒単位のオーダになることはない。したがって, 並列処理時のオーバーヘッド時間は無視できる。しかし, 実装は負荷分散処理のオーバーヘッドに比べてやや複雑になる。

6.7 システム構成の指針

以上の解析的な性能評価から, AFP 照合システム構成のポイントとして, 次の結論が得られる。

照合処理時間を短縮する方法として, サーバの並列処理と負荷分散が考えられる。サーバ台数を増やせば, 照合待ち時間を限りなく短縮することが可能であるが, 装置コストは増大する。短縮効果は並列処理の方が高く, 巡回型 (または Least Connection 型) の負荷分散は待ち時間のばらつきを低減する効果がある。負荷分散では, ランダム型よりも巡回型の方が照合待ち時間は短い。

一方, オーバヘッドは, 同報と統合を必要とする並列処理の方が負荷分散よりも大きい, 今回対象とするシステム規模ではオーバーヘッド時間は十分小さく, 無視できる。

したがって, 結論的には「負荷分散を行わず, 単独に全サーバで並列処理する方式が最も照合処理時間が小さい」ということができる。例えば, サーバ台数 6 台で並列処理すれば, サーバ使用率 85% で, 照合処理時間の 95 百分値を 8 秒以内に抑えることが可能である。

7. む す び

本論文では, 音楽コンテンツの利用に対する著作権使用料の徴収・分配の実態を現地調査し, 対策が必要とされる P2P ネットワークにおける違法な楽曲流通を解決することを目的として, AFP データベースを楽曲特定に用いた楽曲の著作権処理方式とプラットフォームを提案し, 比較評価を行った。また, AFP 照合に伴うユーザの待ち時間を抑制するために, AFP 照合サーバの並列・分散処理に対する性能評価を行った。

今後の課題として, 流通する楽曲の品質保証が挙げられる。ユーザによってアップロードされる楽曲が途中で切れていたり, 音質が低かったりすれば, 対価を払ってダウンロードさせるわけにはいかないためである。また, 重要な課題として, ユーザにとっての提案方式を利用するモチベーションが挙げられる。現在 P2P ネットワークにおける違法な楽曲共有は, 無償で楽曲を入手できるがゆえに行う者が多いと考えられ, そのようなユーザは対価を払って P2P ネットワークで楽曲を入手しようとは思わないだろう。ゆえに提案方式が実現したとしても, 従来どおりに P2P ネット

(注4): マイクロソフトの ASP.NET 技術資料 [24] によると, 一般的なプロセッサのしきい値は 85% となっている。

ワークで不法な音楽流通を行う者が後を絶たないと考えられる。

対策の一つとして、著作物の違法アップロード・ダウンロードの厳罰化がある。特に現在コンテンツの違法ダウンロードに罰則規定がないことが、P2P ネットワークにおける著作物の違法流通を促していると考えられる。罰則規定を適用するためには、アップロードやダウンロードが行われているという確証を何らかの手段で得る必要があるが、提案方式では楽曲のアップロード・ダウンロードを正確に記録することで罰則規定適用の証拠を残すことができる。更に、提案方式では、ユーザに配信されるまでの間に配信サイト等の仲介業者を介さない分、楽曲に払うべき対価は従来の音楽配信サイトよりも廉価に抑えられる可能性がある。したがって、厳罰化した上で提案方式が実現されれば、罪を犯す危険に晒されながら違法な楽曲共有を行うより、提案方式のような方法での合法的な楽曲共有を選ぶユーザが増える可能性がある。

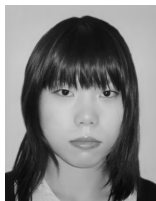
謝辞 著作権処理の現状調査に協力頂いた JASRAC, NHK 放送センター, テレビ朝日, ACCS の関係各位に感謝致します。また, AFP 技術についてご教示頂いた NTT コミュニケーション科学基礎研究所の柏野邦夫氏に謝意を表します。

文 献

- [1] “「Winny」による被害相当額は、音楽ファイル 4.4 億円、コンピュータソフト等 95 億円、合計で約 100 億円の規模と推定。” 社団法人コンピュータソフトウェア著作権協会 (ACCS). 社団法人日本音楽著作権協会 (JASRAC), 2006.11.28 <http://www.jasrac.or.jp/release/06/11.3.html>
- [2] 青木輝勝, 西村竜一, 須田修司, 木屋義夫, 坂本琢也, 野村和男, “コンテンツフィンガープリントを用いたコンテンツ管理方式.” 情処学研報, 2004(25), pp.61-66, 2004.
- [3] C. Conrado, M. Petkovic, M. van der Veen, and W. van der Velde, “Controlled sharing of personal content using digital rights management,” J. Research and Practice in Information Technology, vol.38, no.1, pp.85-96, 2006.
- [4] T. Kalker, D. Epema, P. Hartel, I. Lagendijk, and M. van Steen, “Music2Share - copyright-compliant music sharing in P2P systems,” Proc. IEEE, vol.92, no.6, pp.961-970, 2004.
- [5] G. Tzanetakis, J. Gao, and P. Steenkiste, “A scalable peer-to-peer system for music information retrieval,” Computer Music J., vol.28, no.2, pp.24-33, 2004.
- [6] MA Einhorn and B. Rosenblatt, “Peer-to-peer networking and digital rights management: How market tools can solve copyright problems,” Cato Institute - 2005 - ftc.gov
- [7] 安藤和宏, “2 話 JASRAC と著作権.” よくわかる著作権ビジネス 基礎編 3rd Edition. リットーミュージック, pp.16-23, 2005.
- [8] “使用料規定.” 社団法人日本音楽著作権協会. <http://www.jasrac.or.jp/profile/covenant/pdf/royalty/royalty.pdf> (参照 2008-12-20).
- [9] “著作権使用料分配規定.” 社団法人日本音楽著作権協会. <http://www.jasrac.or.jp/profile/covenant/pdf/2.pdf> (参照 2008-12-20).
- [10] “収支計算書.” 社団法人日本音楽著作権協会. <http://www.jasrac.or.jp/profile/disclose/pdf/h19/pl.01.pdf> (参照 2008-12-20).
- [11] 安藤和宏, “27 話 実演家と二次使用料.” よくわかる著作権ビジネス 基礎編 3rd Edition. リットーミュージック, pp.206-215, 2005.
- [12] “違法な携帯電話向け音楽配信に関する ユーザー利用実態調査【2008 年版】.” 社団法人日本レコード協会. <http://www.riaj.or.jp/release/2008/pdf/081224.pdf> (参照 2008-12-20).
- [13] “放送 (2 これからの放送の利用曲目報告はこうになります).” 社団法人日本音楽著作権協会 JASRAC. <http://www.jasrac.or.jp/bunpai/broadcast/detail2.html> (参照 2008-12-20).
- [14] “P2P ファイル交換ソフトによる権利侵害ファイル流通防止に関するユーザー啓発について.” Telecom ISAC Japan, <https://www.telecom-isac.jp/news/news20061128.html>
- [15] 柏野邦夫, 向井 良, 大塚和弘, 永野秀尚, 泉谷知範, 木村昭悟, 黒住隆行, 大和淳司, “高速メディア探索.” NTT 技術ジャーナル, vol.19, no.6, pp.29-32, 2007.
- [16] “Gracenote Products: MusicID.” グレースノート社. <http://www.gracenote.com/gn-japan/gn-products/music.id.html> (参照 2009-1-20).
- [17] 櫻井紀彦, 木俣 豊, 高嶋洋一, 谷口展郎, 難波功次, “コンテンツ流通における著作権保護技術の動向.” 情処学論データベース, 42(SIG 15), pp.63-75, 2001.
- [18] “CBR, ABR, VBR の負荷比較.” KKKKK.Net, <http://kkkkk.net/?key=docs.mp3compare>
- [19] “インターネット上の音楽や映像を高速・高精度に特定可能なコンテンツモニタリングサービスの提供を開始.” NTT データ報道発表資料, <http://www.nttdata.co.jp/release/2008/120100.html>
- [20] “8 秒ルール.” <http://e-words.jp/w/8E7A792E383ABE383BCE383AB.html>
- [21] 泊 正和, “サーバ負荷分散 - 仕組み, サイトの構築事例, 技術動向 -.” <http://www.nic.ad.jp/ja/materials/iw/2005/proceedings/T5.pdf>
- [22] 秋丸春夫, 川島幸之助, 情報通信トラヒック, 電気通信協会, 2000.
- [23] 藤木正也, 雁部額一, 通信トラヒック理論, 丸善, 1980.
- [24] “.NET アプリケーションパフォーマンスの計測.” http://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ms998579.aspx#scalenetchapter15_topic9
- [25] K. Kashino, A. Kimura, H. Nagano, and T. Kurozumi, “Robust search methods for music signals

based on simple representation,” Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), vol.IV, pp.1421-1424, April 2007.

(平成 21 年 7 月 1 日受付, 9 月 18 日再受付)



矢野友加里

平 21 筑波大・図情卒。音楽コンテンツの著作権管理に関して研究。平 21 年 4 月より、みずほ情報総研株式会社に勤務。



川原崎雅敏 (正員)

昭 50 京大・工・電気卒。昭 52 同大学院修士課程了。同年日本電信電話公社(現 NTT)入社。以来、トラヒック制御、B-ISDN/ATM ネットワーク構成法、情報流通基盤技術等の研究に従事。平 16 より筑波大学大学院図書館情報メディア研究科教授、工博、情報処理学会、医療情報学会、IEEE 各会員。