

特集:2016年「カンファレンス」

ハイレゾストリーミングサービス 「PrimeSeat」を支える技術

株式会社コルグ 技術開発部
部長 大石 耕史

株式会社インターネットイニシアティブ 配信事業推進部
副部長 富米野 孝徳

目次

1. はじめに
2. DSD インターネット・ライブ・ストリーミングの前例
3. PrimeSeat 概要
4. MPEG-DASH ライブ・ストリームへのエンコード
5. PrimeSeat アプリケーションについて
6. ストリーミング配信サービスを支援するサーバー・サイド・アプリケーション
7. コンテンツデリバリネットワーク
8. まとめ

1. はじめに

株式会社インターネットイニシアティブ（以下 IIJ）では、1998 年よりコンテンツ配信事業を開始して以来、映像や音楽などの分野においてさまざまな取り組みを行っています。最近では IIJ 会長の鈴木が実行委員長を務めているクラシック音楽の祭典「東京・春・音楽祭」において、2010 年にインターネットで演奏会の配信をスタートし、2014 年には「HEVC/H.265 over MPEG-DASH」を利用した世界初のライブ配信（※1）を行いました。

その後、次のテーマとして「音」に着目しました。インターネットでの音の配信は現状でも圧縮されたものが主流ですが、利用者のインターネット環境の向上に伴い、圧縮していない音源の配信もできるだろう、ということでハイレゾ音源の中でも最高峰と言われる DSD(Direct Stream Digital) をそのまま配信することにチャレンジしました。この試みはソニー株式会社、有限会社サイデラ・パラディソ、株式会社コルグ（以下コルグ）、IIJ の 4 社による実証実験という形で、2015 年 4 月に東京・春・音楽祭とベルリン・フィルハーモニー管弦楽団（以下ベルリン・フィル）のコンサートをそれぞれ、東京とベルリンから配信することができました。これは世界初のインターネットでのハイレゾ音源のライブ・ストリーミング配信です。東京・春・音楽祭 2015、ベルリン・フィルの配信を成功させたのち、多数の DSD での配信を行い、2015 年 12 月から IIJ が主体者となりコルグの技術支援とともに「PrimeSeat」サービス（※2）を提供開始しました。

※1 2014 年 3 月 10 日付 IIJ プレスリリース

<http://www.iij.ad.jp/news/pressrelease/2014/0310.html>

※2 <https://primeseat.net/>

2. DSD インターネット・ライブ・ストリーミング伝送の前例

インターネットを使った DSD 信号のライブ・ストリーミング伝送の前例として、2004 年 10 月 31 日に「117th AES Convention」で公開実験が行われた記録が残っています。これはマギル大学（モントリオール）からカリフォルニア大学（サンフランシスコ）に 2.8MHz×4ch の DSD 信号と 270Mbps の SDI 映像をライブ配信したもので、マギル大学の「Ultra-Videoconferencing」というシステムを応用したものです。



117th AES Convention での公開実験の様子

この実験では、CA*net4（カナダ）と Internet2（アメリカ）というその時点での次世代インターネットのためのリサーチ用回線上で UDP によって 1:1 の伝送がなされていましたが、前記 4 社による DSD ライブ・ストリーミング配信実験では、通常の商用インターネット回線上でマルチクライアントに対して 1:N での放送を TCP/IP で行なった点が大きく異なっています。

3. PrimeSeat 概要

PrimeSeat は利用者には Windows/Mac のアプリとして見えますが、システムは全体として次の 4 つの部分から成り立っています。

- ライブエンコーダ
- 配信されるストリーミングを再生するアプリケーション
- サーバー・サイド・アプリケーション
- コンテンツデリバリネットワーク

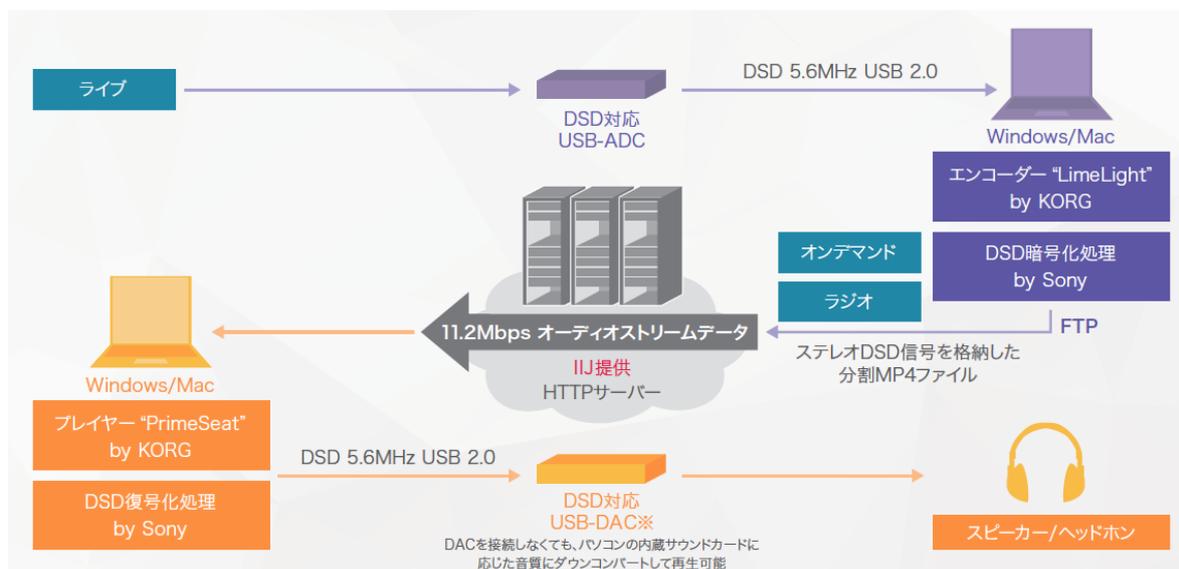


図1 DSD ライブ・ストリーミング システム概要

ライブ配信は上図のようなシステムです。

アナログ入力を DSD に変換、それをインターネットでのストリーミングの標準の一つである MPEG-DASH を利用してクライアントまで配信します。ライブの場合は基本的にはこのような形になりますが、ライブのサポート、オンデマンドへの対応などのためにサーバー・サイドにいろいろなアプリケーションを準備して、クライアントにハイレゾ音源を届けています。それぞれをご紹介します。

4. MPEG-DASH ライブ・ストリームへのエンコード

コンサート会場で 2ch アナログ・ミックスされた音声は、「MR-0808U」という専用ハードウェアと、PrimeSeat のために特別に開発された「Limelight」ソフトウェアによってリアルタイムに MPEG-DASH ストリーム形式にエンコードされ、その場で配信サーバーにアップロードされます。

MR-0808U

コルグが 2010 年に開発した「Clarity」という DSD DAW プロトタイプの専用ハードウェア（非売品）。44.1kHz~192kHz までの PCM、および 2.8MHz/5.6MHz の AD/DA に対応した 8in/8out の USB オーディオ・インターフェイスで、PC との通信には ASIO ドライバを使用します。PrimeSeat では外部で 2ch ミックスされたアナログ信号を DSD 信号 (2.8MHz/5.6MHz) に AD 変換し、USB 経由で Windows PC に信号を伝送するのに使用されています。

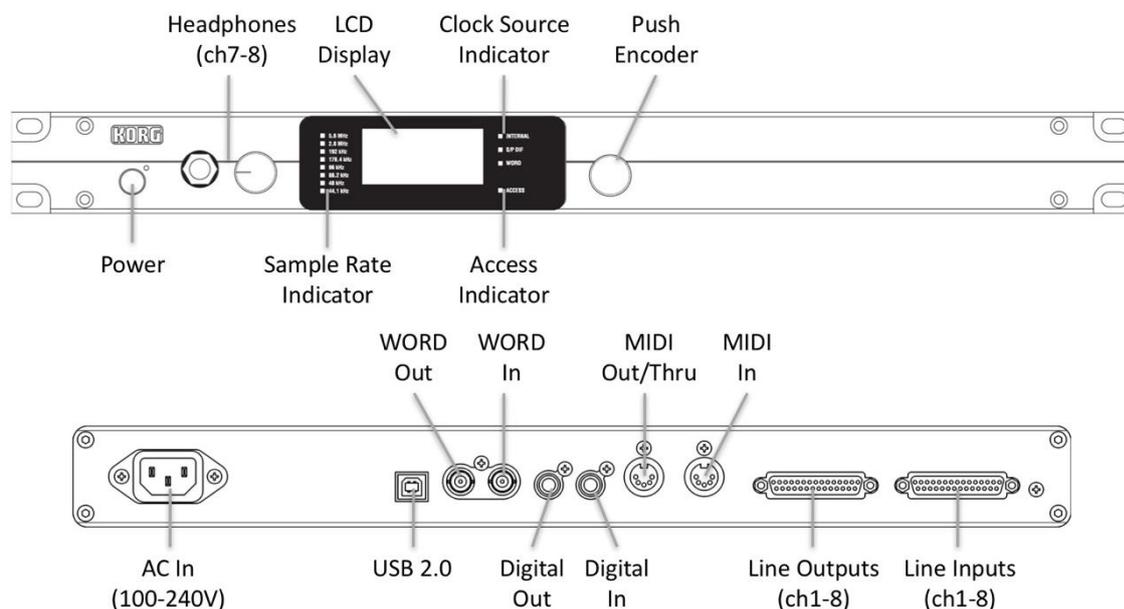
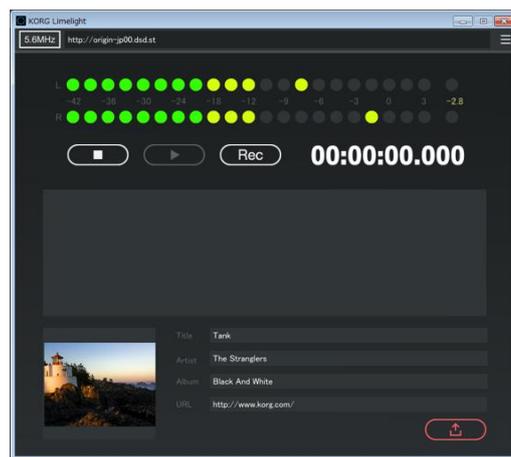


図2 MR-0808Uの入出力仕様

Limelight

MR-0808UでWindows PCに取り込まれたDSD信号をMPEG-DASHストリーム形式にエンコードし、FTPやWebDAVでサーバーにアップロードするのが、コルグが本サービスのために開発した「Limelight」というソフトウェアです（非売品）。segment size、minimum buffer size、period duration などストリーミング品質を左右するパラメータが一通り設定できるようになっているほか、アーティスト名やタイトルなどのメタデータを配信することも可能です。

2015年4月の配信実験のために開発された初期バージョンはWindows専用・DSD専用という限定的な仕様で、これが今でも連日のOttava生放送で運用されていますが、現在βテスト中の最新バージョンはMacでも動作するほか、PCM(44.1kHz-384kHz)でのライブ・ストリーミング配信にも対応しています。またMR-0808U以外にも、KORG DS-DAC-10Rなど市場に流通しているASIO(Windows)、Core Audio(Mac)デバイスにも対応しているので、近い将来、誰でもハイレゾでのインターネット・ライブ・ストリーミングが可能となる時代がやってくるかもしれません。



Limelightのスクリーンショット

5. PrimeSeat アプリケーションについて

PrimeSeat 配信サービスのユーザーとの接点であり、音質の要となっているのが、コルグが開発し、IIJ が無償配布している「PrimeSeat」という専用再生アプリケーションです。2015年4月の配信実験用に v1.0 を開発して以降、安定性や音質の向上、機能追加など日々進化を続けており、2017年3月には最新版である v1.6 の提供が開始されました。

PrimeSeat の基本設計

ハイレゾ音源をパソコンで再生する環境（再生アプリケーション、USB DAC など）は徐々に整いつつありますが、Windows も Mac もオーディオに特化した OS ではありませんので、真に高音質再生を実現するためにはアプリケーションやドライバ・レベルで様々な考慮や仕掛けが必要となります。特に OS に標準搭載されている「カーネル・ミキサー」は、様々なアプリケーションが同時に処理されるパソコンには必須の機能と言えますが、複数のオーディオ・アプリケーションの出力を PCM ドメインでミキシングするだけでなく、ユーザーが気づかないうちにサンプルレート変換を行うこともあるので、ハイレゾ再生においては大変厄介な存在です。特に DSD にとって、カーネル・ミキサーは音質を劣化させるというより信号を破壊する存在ですので、特に慎重な対応が必要とされます。



PrimeSeat のスクリーンショット

現在、Windows/Mac を対象としたマルチメディア・ストリーミング・サービス（動画や圧縮オーディオ）は、特別なソフトを必要とせず、Google Chrome などウェブ・ブラウザのみで利用可能なものが主流となっています。PrimeSeat に対しても同様のリクエストがあるのも事実ですが、通常のウェブ・ブラウザからは DAC デバイスを直接制御することができず、必ずカーネル・ミキサーを経由してしまうため、ハイレゾ音源をハイレゾ品質（ビット・パーフェクト）のまま再生することが非常に困難になってきます。

一方、Windows/Mac のネイティブ・アプリケーションであれば、オーディオ・デバイスを ASIO や Core Audio (hog mode)などを占有して開くことができ、カーネル・ミキサーをバイパスすることができます。またコンテンツのフォーマットに応じて、オーディオ・デバイスの設定を動的に切り替えることもできます。ネイティブ・アプリケーションである「PrimeSeat」ソフトウェアは、インターネット・ストリーミングにおいてビット・パーフェクトによるハイレゾ再生を実現するために生まれました。

ウェブ・ブラウザ「Chromium」搭載

前述のように PrimeSeat はあくまでもネイティブ・アプリケーションではありますが、そのフロントエンドには Google Chrome でも採用されている「Chromium」というウェブ・ブラウザ・エンジンを搭載しています。これはアプリケーションの GUI（ルック&フィール）をサービス提供者自身が、HTML5 (JavaScript、CSS) を使って独自に開発・提供できることを意味しています。これにより、その時々状況に応じてスピーディな GUI のアップデートや機能追加が実現できるだけでなく、SNS 連携機能、ウェブ決済システムなど、既に確立しているウェブ技術をそのまま利用できるメリットがあります。

PrimeSeat Hi-res Streaming System Architecture

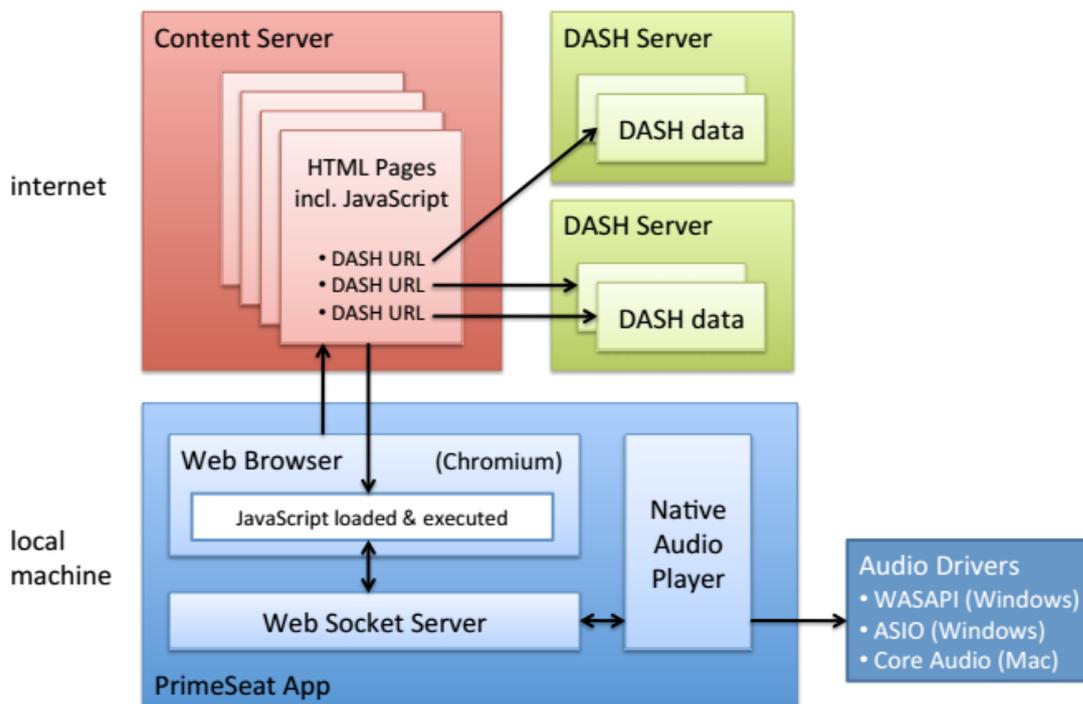


図 3 PrimeSeat アプリケーションのシステム構成

対応オーディオ・デバイス

2015年4月のDSDライブ・ストリーミング実証実験においては、PrimeSeatから開くことのできるDACとして、メーカーと型番による制限を掛けていましたが、現在では特に制限は掛けておらず、以下の仕様に合致したDACであればほぼ問題なく使えるようになっています。ただし、PCオーディオにおいて、再生アプリケーションとオーディオ・デバイス・ドライバとの相性問題を100%解消することはできません。このため、<http://primeseat.net>では、DACメーカー自身によってPrimeSeatアプリケーションとの動作検証がなされたものを「PrimeSeat推奨DAC」として紹介しておりますので、この中にあるものを使用するのが無難でしょう。

Windows

- ・ WASAPI 対応デバイス：PCM 再生のみ(44.1-192kHz)
- ・ ASIO 対応デバイス：PCM(44.1-192kHz)および DSD native(2.8-5.6MHz)

Mac

- ・ Core Audio 対応デバイス：PCM(44.1-192kHz)および DoP(2.8-5.6MHz)

対応オーディオ・フォーマット

PrimeSeat が配信可能なフォーマットは以下のようになっています (いずれも 2ch ステレオのみに対応)。

Linear PCM

- ・ 16bit: 44.1kHz, 48kHz
- ・ 24bit: 44.1kHz, 48kHz, 88.2kHz, 96kHz, 176.4kHz, 192kHz

1bit DSD

- ・ 2.8224MHz, 5.6448MHz

信号処理能力

PrimeSeat はコルグのオーディオ・フォーマット変換／再生アプリケーションである「AudioGate」をベースに開発されていますので、AudioGate 譲りの信号処理能力を受け継いでいます。

- 1) リアルタイム・フォーマット変換機能
- 2) DSD ドメインのフェード／ボリューム・コントロール

特に(1)により、DSD やハイレゾ対応の外部 DAC をお持ちでないユーザーでも、PC の再生能力の上限にダウンコンバートして再生することができるようになっています。

コンテンツ保護機能

PrimeSeat はその通信路として SSL に対応しているだけでなく、独自の暗号化システム(DRM)を採用しています。また、ダウンロードしたセグメント・データをストレージ等にキャッシュすることなく、メモリ上で直接処理しているため、ストリーミングの過程においてコンテンツがユーザーの手元に残ることはありません。

6. ストリーミング配信サービスを支援するサーバー・サイド・アプリケーション

PrimeSeat や Limelight 以外にも、コルグが開発した以下のサーバー・サイド・アプリケーション (非売品) が PrimeSeat サービスの中で実際に運用されています。

dashenc

コンテンツ・ホルダーから納品される完パケのオーディオ・ファイル（WAV, BWF, AIFF, DSDIFF, DSF）を on demand でのストリーミング配信可能な MPEG-DASH 形式に変換するプログラム。

odtransrate

on demand の MPEG-DASH ストリームを別のフォーマット（サンプリング周波数、量子化ビット数）などに変換するプログラム。

transrated

MPEG-DASH 形式のライブ・ストリームを、リアルタイムで別のフォーマット（サンプリング周波数、量子化ビット数）に変換するプログラム。例えば、ライブ会場からは最高音質の DSD 5.6MHz でアップロードし、サーバー側で 2.8MHz や PCM など様々な形式にリアルタイム変換し、低速なインターネット環境でも聴取可能となるマルチ・フォーマットでのライブ配信が可能となります。

7. コンテンツデリバリネットワーク (CDN)

ハイレゾ音源のストリーミングデータは CDN を利用してエンドユーザに届けるのですが、長距離配信のためには少し工夫が必要になります。CDN 自体はコンテンツ配信のためのサーバー群で、HTTP のプロキシ技術を用いたサーバーをたくさんネット上に配置して多数のアクセスに対応するのですが、サーバー群が音源と距離が遠い場合、TCP/IP のチューニングが必要となります。

ベルリンから日本への配信を例に考えます。IIJ のバックボーンでは、日本と欧州のラウンドトリップタイムは 180ms、TCP のウィンドウサイズを 64kB として試算してみると、スループットは次の式で計算できますので約 2.8Mbps となります。

$$\text{スループット(bps)} = \text{TCP ウィンドウサイズ(B)} * 8 / \text{RTT(S)}$$

$$64\text{KB} \times 8 \div 180\text{ms} = 2,844.44\text{kbps} = 2.8\text{Mbps}$$



図4 IIJ インターネットバックボーン

DSD の 2ch を配信するには 11.2Mbps のスループットが必要ですので、このウィンドウサイズでは圧倒的に足りません。逆にどのくらいのウィンドウサイズが必要かを上記の式を利用して

$$\text{TCP ウィンドウサイズ(B)} = \text{スループット(bps)} * \text{RTT(S)} / 8$$

となりますので

$$11.2\text{Mbps} * 180\text{ms} / 8 = 252\text{KB}$$

となります。IIJ で利用している配信用のサーバー群は Linux を利用していますが、このウィンドウサイズは 64KB が初期で、それから 4MB まで必要に応じて増えていきますので、252KB であれば十分に配信できます。

ウィンドウサイズ・一回に送るデータサイズ このサイズがスループットに影響する

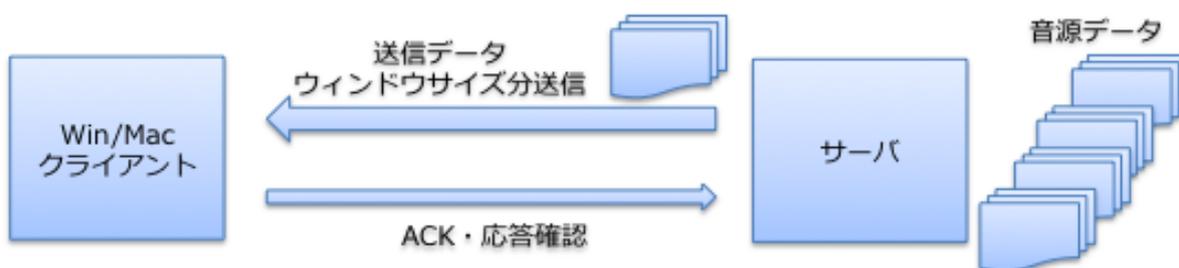


図5 TCP/IP のウィンドウサイズ

続いて考慮しなければならないところは TCP スロースタートです。TCP は輻輳を防ぐためにスロースタートという考え方を採用しています。ウィンドウサイズをいきなり MAX で送信するのではなく、じわじわと上げていくアプローチを取ることで、通信の輻輳を起きにくくみんなが仲良く使えるようにしています。

PrimeSeat の配信では DSD5.6MHz/1bit×2ch の場合、3 秒のデータを送信していますので 4.2MB となります。これを 3 秒以内に送れなければ、連続して再生できない、ということになるのですが、日本から欧州への通信で TCP のウィンドウサイズを 4KB で単純に計算してみると 3 秒では約 66KB しか転送できません。日本から欧州までのラウンドトリップタイム、ウィンドウ

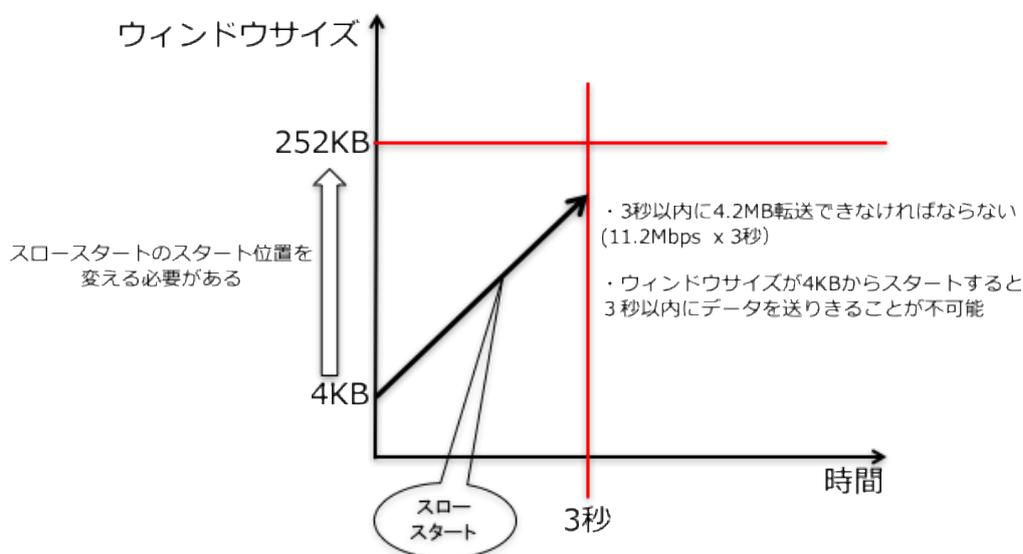


図6 TCP/IP のスロースタート

サイズを考慮しつつ計算すると 252KB のウィンドウサイズを転送開始時点から設定して送信すれば良いこととなります。実際の設定はオーバーヘッド等も考慮してもう少し大きい値を設定します。IIJ では欧州から日本への自社ネットワークを有していますので、全体のネットワーク状況を見た結果、このような設定をしても輻輳等が起きないと判断ができましたので、スロースタートをしないうチューニングを行い長距離伝送を実現しています。

8. まとめ

現在提供している PrimeSeat サービスは技術的には DSD だけでなく PCM もストリーミング可能なサービスとなっており、ライブ配信、ハイレゾ音源のオンデマンド配信、ラジオなどの高品質配信など、多様なシーンで利用できます。コンシューマ向けにハイレゾ音源をストリーミング提供するサービス、事業者の方がハイレゾストリーミングの技術を利用されるケースも出てきています。ハイレゾ×ストリーミングを検討されている方は相談いただければ、音源の質をそのままに配信いたします。

■執筆者プロフィール



大石 耕史 (株式会社コルグ 技術開発部 部長)

2002年株式会社コルグ入社。シンセサイザーの開発を経て、2004年より1bitオーディオの研究開発を行い、その成果物としてMRシリーズやAudioGate等を製品化。2014年より現職。同社の新規技術や基盤技術の開発を手掛ける。



富米野 孝徳 (株式会社インターネットイニシアティブ 配信事業推進部 副部長)

1997年株式会社インターネットイニシアティブ入社。IIJ America Inc.の立ち上げ、米国でのIIJバックボーン構築ののち、帰国。ネットワークインテグレーション、セキュリティサービスなどの担当を経て2017年から現職。