

IPv6 マルチキャストに対応した MPEG2 伝送システム

相原 玲二† 西村 浩二† 大塚 玉記‡ 近堂 徹‡

† 広島大学総合情報処理センター ‡ 広島大学大学院工学研究科

概要

次世代インターネットの通信方式として研究開発が進められている IPv6 では、1 対多の通信を実現するマルチキャスト機能が標準でサポートされ、動画放送への本格的利用が期待されている。一方、高速通信網の普及により、高品質動画伝送に対する要求が高まってくると考えられる。今後インターネット上では、より高品質の動画伝送が増加し、ネットワーク上のトラフィックのほとんどは動画になるとも言われている。本稿では、MPEG2 による動画を IPv6 ネットワーク上で伝送することに注目し、IPv6 マルチキャストおよび IPsec を用いた動画伝送システムの構築および実験について報告する。本システムにより 50Mbps を越える HDTV 動画伝送が可能であり、IPsec を併用した場合でも 20Mbps の伝送が可能であることなどを示す。

An MPEG2 Transfer System Using IPv6 Multicast

Reiji Aibara†, Kouji Nishimura†, Tamaki Ohtsuka‡, Tohru Kondo†

† Information Processing Center, Hiroshima University

‡ Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Abstract

Internet Protocol version 6 as the next generation Internet protocol includes multicasting capabilities and contributes to deploy the broadcasting applications for moving pictures over the Internet. As spreading wide bandwidth networks, the Internet users require to transfer high quality moving pictures. Video and audio data will occupy the almost all Internet bandwidth in the near future. In this paper, we focus on transmission of video and audio data compressed by MPEG2 on IPv6 networks. We show an MPEG2 transfer system using IPv6 multicast with IPsec. We also demonstrate the system has capability of over 50Mbps HDTV MPEG2 video transfer without IPsec, and of 20Mbps with IPsec.

1 まえがき

Internet Protocol version 6 (IPv6)[1] は次世代インターネットの通信方式として、各方面で研究開発が進められている。IPv6 では 1 対多の通信を実現するマルチキャスト機能が標準でサポートされ、動画放送への本格的利用が期待されている。

IP マルチキャストの応用としては、インターネット上に構築された世界的な実験ネットワーク MBone[2] が知られている。しかし、現在主流の IPv4 ではマルチキャスト機能はオプションとして提供されていることもあり、マルチキャストネットワークの普及の伸び悩みが問題となっている。また、MBone 上では動画、音声、文字情報等が交換されているが、これまでは通信帯域

が十分確保できないことを前提として、低品質の動画利用が多かった。前者の問題は、マルチキャストを標準装備する IPv6 の普及により解決されるであろう。後者は、今後高速通信網の普及により、高品質動画伝送に対する要求が高まってくると考えられる。

低速回線で使用される画像圧縮方式は H.261, H.263, MPEG4 などで 64Kbps~1.5Mbps 程度の通信帯域を使用する。それに対し通常のテレビ品質 (SDTV) 画像を MPEG2[3] 方式で圧縮すると 4Mbps~15Mbps, 高品質テレビ (HDTV) 画像を MPEG2 で圧縮すると 30Mbps~80Mbps 程度必要となる。これらの圧縮方式では画像フレーム間の相関を利用しているが、フレーム間圧縮を行わない DV 方式では、SDTV 画像であっても 30Mbps 程度の帯域を必要としてしまう。SDTV 品質で DV 方式

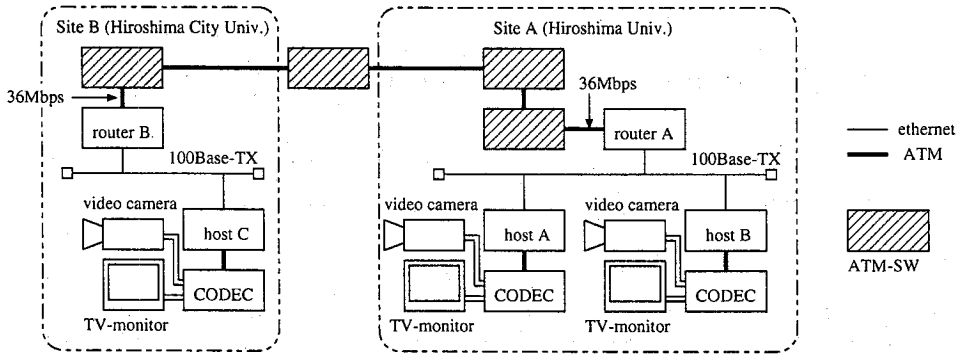
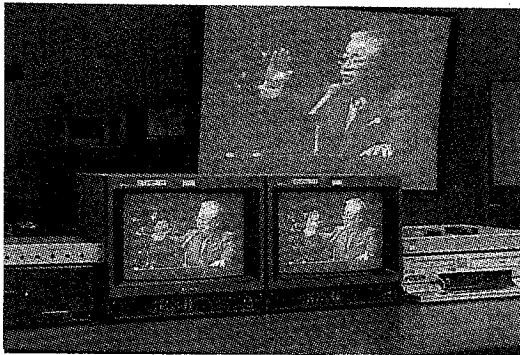


図 2: MPEG2 伝送実験環境.

表 1: 使用機器概要.

	hostA	hostB	hostC	routerA	routerB
CPU	PentiumIII 750MHz		PentiumII 450MHz	PentiumIII 450MHz	PentiumIII 550MHz
memory				128MB	
OS	FreeBSD-3.4RELEASE				
IPv6 実装	kame-20000605-freebsd34-snap				kame-20000619-freebsd34-snap

CODEC: OKI YS3200 VIDEO CODEC



左: MPEG2 右: DV

図 1: MPEG2 と DV の比較実験 (広島大会場).

と MPEG2 方式を比較すると, MPEG2 方式が画像圧縮に伴う遅延時間が 0.1~0.2 秒程度大きくなるが, 画像品質自体にそれ程大きな差は見られない [4](図 1).

今後インターネット上では, より高品質の動画像伝送が増加し, ネットワーク上のトラフィックのほとんどは動画像になるとも言われている. 本稿では, 帯域圧縮率の大きな MPEG2 を IPv6 ネットワーク上で伝送することに注目し, IPv6 マルチキャストおよび IPsec[5] を用いた SDTV 画像伝送システムの構築および実験, さらに HDTV 画像伝送実験などについて報告する.

2 予備実験

MPEG2 伝送実験における実験環境を図 2 および表 1 に示す. MPEG2 ストリームの符号/復号化には沖電気の YS3200 VIDEO CODEC を使用し, MPEG2-TS (Transport Stream) のエンコーダ/デコーダへの入力レートは 6.144/8.192/9.216/12.288/16.384Mbps(可変)で行なった. MPEG2-TS は MPEG2 ストリームを伝送する場合における最小基本単位である. 実験を行ったサイト間は約 40Km 離れており, サイト間は ATM 専用線により接続され, router A, router B 間の ATM 伝送速度は 36Mbps である. マルチキャストルーティングおよび IPsec の設定に関しては, KAME プロジェクト [6] が研究開発している IPv6 スタック KAME のコマンド pim6sd, setkey をそれぞれ利用した. この実験環境により IPsec を併用した IPv6 マルチキャスト伝送の可能性を調べるため, netperf[7] による伝送帯域測定を予備実験として行った.

IPsec は IP 上のセキュリティを保証するプロトコルである. 具体的には認証ヘッダや暗号ペイロードという構造を IP パケットに付加し, その中に IP パケットの暗号情報や認証情報を格納することによって, 機密性や認証などのセキュリティ機能を実現している. 認証ヘッダ(AH: Authentication Header)[8] は IP パケットの認証情報を格納するものであり, 暗号ペイロード (ESP:

Encapsulation Security Payload)[9] は IP パケットの暗号情報を格納する。これらの動作は独立であり、個別あるいは両方を組み合わせて利用することが可能である。

図 2 の実験環境において host A, host C との間で IPsec の使用時におけるスループットの測定を次のように行なう。ここでは IPsec に AH, ESP を両方組み合わせて使用することとし、AH に用いるアルゴリズムは hmac-md5, hmac-sha1, keyed-md5, keyed-sha1 の中から選択し、ESP に用いるアルゴリズムは des-cbc, 3des-cbc より選択する。そして AH, ESP の各アルゴリズムの組合せに対して UDP/IPv6 のスループットを測定する。測定には IPv6 対応にした netperf-2.1pl3 を用い、1 回 10 秒の測定を 3 回行ない平均を求めた。

測定結果を図 3 に示す。図 3 の横軸は IPv6 ヘッダおよび UDP ヘッダを除いたデータサイズ、縦軸はスループットである。図 3 は host A から host C への測定結果であるが、host C から host A への場合もほぼ同じ結果が得られた。

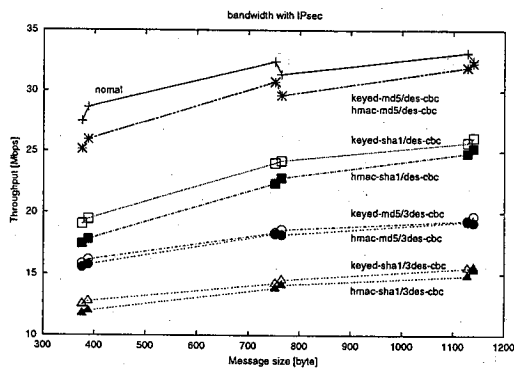


図 3: IPsec 使用時のスループット (host A → host C)。

図 3 では、IPsec を使用しない場合でも 33Mbps 程度が上限となっているが、これはサイト間 ATM 伝送速度 36Mbps が原因であり、同様の実験を 100Base-TX で接続された環境で行うと 80Mbps 以上のスループットが得られることが分かっている。なお、keyed-md5/des-cbc と hmac-md5/des-cbc は得られた値がほぼ一致しているため、グラフ上は 1 本のラインのように見えている。全体的に AH よりも ESP アルゴリズムの違いによるスループット低下の影響が大きいことが分かる。これらは既報告の結果 [10] とほぼ一致している。

今回用いた IPsec の処理はソフトウェア処理によるものであるが、最もスループットの結果の良かった keyed-md5 と des-cbc の組合せでさえも 30Mbps 程度が上限

である。したがって、現状のコンピュータ性能では高帯域を必要とする DV や HDTV MPEG2(30~80Mbps) についてソフトウェア処理による IPsec を利用することは、必ずしも容易でないことが分かる。

3 伝送ソフトウェアの開発

図 2 の構成で IPsec を使用し、IPv6 マルチキャストで MPEG2 伝送を行なうため、以下に示す処理を行うソフトウェアを開発した。ここで、すべてのホストは同一のマルチキャストグループ G に属していると仮定する。

1. MPEG2 エンコーダ (CODEC) はビデオカメラからの映像と音声を取り込み、MPEG2-TS を生成して host B へ送る。
2. MPEG2-TS を受信した host B は複数個の MPEG2-TS を IPv6 パケットにカプセル化し、RTP ヘッダを付加する。また、パケットを送信する毎に RTP ヘッダのシーケンス番号フィールドをインクリメントする。
3. host B は構成した IPv6 パケットをマルチキャストグループ G へ送信する。
4. IPv6 マルチキャスト送信されたパケットはマルチキャストグループ G に属する host A へ伝送され、host A はその IPv6 パケットを受信する。
5. IPv6 パケットを受信した host A は RTP ヘッダ中のシーケンス番号を調べてパケットロスの有無を確認する。
6. host A は受信した IPv6 パケットから MPEG2-TS を取り出し、MPEG2 デコーダ (CODEC) へ送る。この送信時の時間を保持することにより受信する IPv6 パケットの受信間隔を測定する。
7. MPEG2 デコーダ (CODEC) は映像と音声を再生する。

本実験での IPv6 パケットの構成を図 6 に示す。ただし、括弧内はバイト数、 n は正の整数 (コマンド実行時の引数として指定可能) を示す。

IPv6 header	UDP header	RTP header	TS packets
(40)	(12)	(8)	(188 x 2n)

図 6: パケットフォーマット。

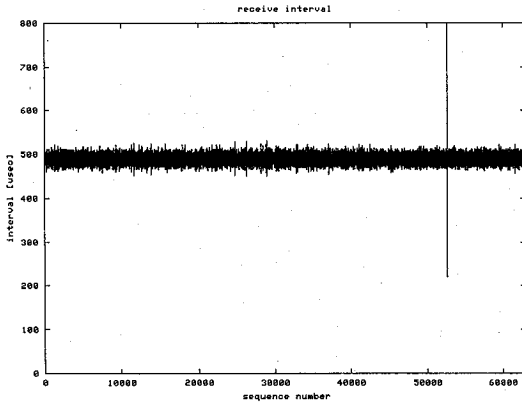


図 4: TS 伝送速度 6.144Mbps のパケット受信間隔。

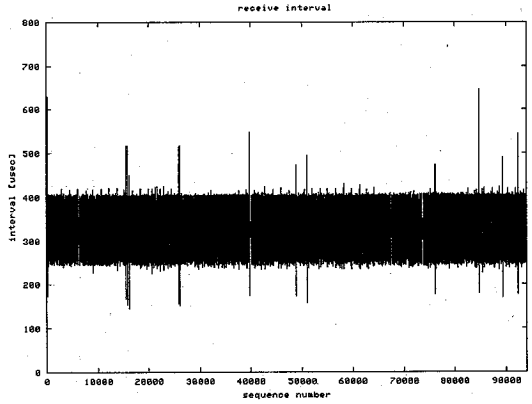


図 5: TS 伝送速度 9.216Mbps のパケット受信間隔。

4 パケットロスとジッタ測定

前節で述べたソフトウェアを使用し、TS レベルの伝送速度 6.144/8.192/9.216/12.288/16.384Mbps について伝送実験を実施し、受信パケット間隔を測定した。このうち、6.144Mbps と 9.216Mbps の結果を図 4、5 に示す。この実験では 1 パケットに 2 個の TS を含む設定としている。横軸は各パケットに付けたシーケンスナンバーであり 5 分間測定した結果である。縦軸はひとつ前のパケットとの時間間隔を表す。また、本測定ではすべての TS 伝送速度においてパケットロスは全く検出されず、映像が停止するといったことも見られなかった。しかし両者を比較すると図 5 はパケットの受信間隔が大きく揺らいでいることが分かる。その他結果を見ても TS 伝送速度が上がるにつれてパケットの受信間隔の揺らぎが増加している。また図 5 ではところどころに大きな揺らぎが発生していることが確認できる。これはシステム関連のプロセスが起動しているためであると思われる。

本実験はネットワーク上に他のトラフィックが発生しない状態を作って実施したため、パケットロスやジッタ（パケット到着遅延のゆらぎ）はほとんど発生しない。しかし、使用した送受信ホストの OS はリアルタイム OS でなく、OS のタスクスイッチ等の影響を受け、結果的にジッタが発生することが観測されている。一般に MPEG2 デコーダの受信バッファサイズやバッファリングアルゴリズムにより、一定以上のジッタが発生するとデコーダ内部でパケットの廃棄が発生し、正常に画像を再生できなくなる。本実験システムにおいても、以下に示す対策を施さなかった場合、OS のタスクスイッチの影響によるジッタのため、画像を正常に再生できないことが分かっている。

[対策]

- (a) スワップ領域を使用不可に設定する。
- (b) 送受信プロセスのスケジューリング優先度を最大に設定にする。
- (c) 不要なプロセスを削除する。

プロセススワップの影響は大きく、対策 (a) を実施しない場合、受信映像の乱れはきわめて大きかった。また、対策 (a) および (b)、または対策 (a) および (c) を実施した場合は、いずれも十分でなく、画像に乱れが生じた。それぞれの原因は以下のように推測される。

[対策 (a) および (b) の場合]

他のプロセスのディスクアクセス等によって処理遅延が発生し、結果としてパケットの受信間隔の揺らぎとして現れた。その揺らぎが MPEG2 デコーダの許容値を越えたために映像が停止した。

[対策 (a) および (c) の場合]

受信ホストのシステムプロセス優先度は一般プロセスである送受信プロセスの優先度より高い。システムプロセスに送受信処理を遮られ、その影響がパケット受信間隔の揺らぎとして現れた。

今回使用した MPEG2 CODEC のデコーダ部の CDV(Cell Delay Variation) 値を表 2 に示す。これより、図 4、5 の揺らぎは許容範囲内であることが確認できる。なお、他の MPEG2 デコーダ（PC 用 MPEG2 デコーダカード）では数 10ms 程度の揺らぎに耐えるものもあり、耐ジッタ性能はバッファリングアルゴリズム等に大きく依存することが分かる。

表 2: 実験で使用した MPEG2 デコーダの CDV 値.

TS 伝送速度 [Mbps]	CDV[msec]
6.144	4.0
8.192	3.0
9.216	2.6
12.288	2.0
16.284	1.5

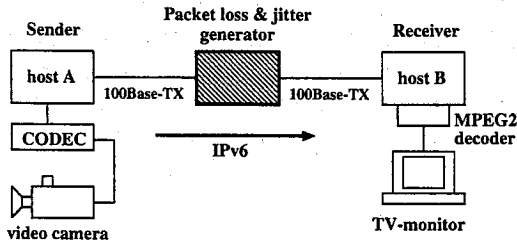
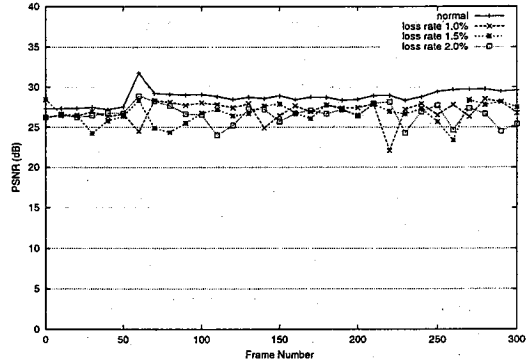


図 7: 耐パケットロス・耐ジッタ性能評価システム.

5 耐パケットロス・耐ジッタ性能

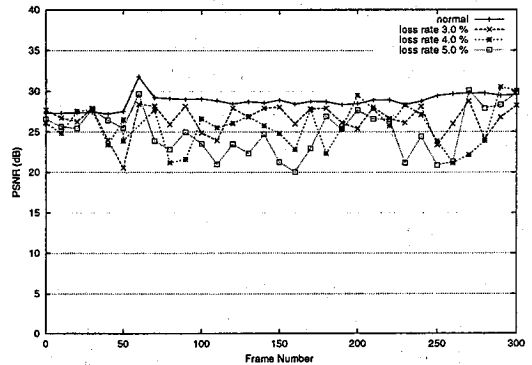
実際のネットワーク上では、一定のパケットロスおよびジッタが発生する。画像伝送システムの評価を行うため、任意のパケットロスおよびジッタを発生させる必要がある。そのため図 7 に示すシステムを試作し、評価を行っている。パケットロスおよびジッタの発生装置は、PC-UNIX 上にソフトウェアで実現しており、任意のロス率のパケットロスの発生を発生することができる。また、任意の時間間隔（デフォルトでは 5 秒）毎に、指定した時間（5 ミリ秒きざみ）のパケット遅延を発生することができる。

この評価システムを用いて、パケットロス率と受信画像の関係性を調べた。ここでは、画像品質の良否を表す指標の一つである PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) を用いた評価結果の一例を図 8、図 9 および表 3 に示す。これらは、ある 10 秒間の動画像（毎秒 30 フレーム）に対し各フレームの PSNR を求めたもので、図 8 と図 9 はすべてのフレーム（300 フレーム）についてプロットしたもので、表 3 はそれらを平均したものである。パケットロス率が 0% の値は、MPEG2 エンコードおよびデコードのみによる画像劣化の度合いを示している。なお、本実験では MPEG2 デコードとして VELA 社の Cine View PCI カードを使用し、1 パケットあたり 6 個の TS を含む設定とした。同様に、ジッタに対するシステムの性能評価も可能である。



normal は loss rate 0% を表す。

図 8: パケットロスと PSNR (loss 1.0%~2.0%).



normal は loss rate 0% を表す。

図 9: パケットロスと PSNR (loss 3.0%~5.0%).

6 HDTV 伝送実験と今後の課題

以上の結果を踏まえ、今回開発したシステムによる高品質動画像 (HDTV) 伝送実験を行った。構成は表 1 と同様であるが送受信ホストには Pentium III 850MHz CPU を使用し、送受信ホスト間を 100Base-TX により直接接続して行った。使用したエンコーダとデコーダは 1080i デジタル映像入出力と ATM インターフェースを持ち、TS 伝送速度を 20~130Mbps に設定可能なものを使用した。実験の結果、IPsec を利用しない状態で 50Mbps、IPsec を利用した場合でも 20Mbps による動画像伝送が可能であることが判明した。

HDTV 画像を伝送する場合、IPsec しないのであれば現在のハードウェアでもほぼ満足できる結果となったが、IPsec を併用するのは難しい。ハードウェア性能の向上あるいは IPsec 専用ハードウェアの利用等が必要であろう。一方、通常品質動画像 (SDTV) 伝送であれば、現在のハードウェアを利用し IPsec を併用した伝送が

表 3: パケットロスと PSNR 平均値

Packet loss (%)	PSNR (dB)	Packet loss (%)	PSNR (dB)
0	28.56	1.5	27.26
0.1	28.44	2.0	27.05
0.3	28.45	3.0	26.16
0.5	27.92	4.0	25.78
1.0	27.63	5.0	24.55

十分可能であることが分かった。ただし、ネットワーク上で発生するパケットロスやパケット到着遅延の揺らぎに対応するには、いくつかの改良が必要である。パケットロスに対しては、誤り訂正符号 (Read-Solomon 符号等) を導入し、ロス率を低く抑えることが考えられる。一方、到着遅延の揺らぎに対してはバッファリングをすることでかなりの改善が期待できる。ただ、いずれにしてもソフトウェアにより処理する場合、伝送速度に対して処理時間を十分小さくしなければならない点に留意する必要がある。

7 むすび

本稿では IPsec 利用時の認証アルゴリズム、暗号化アルゴリズムの違いによるスループットへの影響の測定、さらに IPv6 マルチキャストおよび IPsec (認証と暗号化) によって MPEG2 の伝送実験を行ない、パケットロスとパケット受信間隔の測定を行なった。その結果、いくつかの工夫により通常品質動画画像の伝送は十分可能であることを示した。また、実験システムでは IPv6 ユニキャスト、IPv4 ユニキャスト、IPv4 マルチキャストいずれにも対応しており、実験の結果いずれの伝送方式でもほぼ同様の結果が得られている。さらに、今回の実験ではホストの OS として主に FreeBSD を使用したが、Linux への対応も進めている。

HDTV への適用も目標の 1 つである。機器の都合等により広域ネットワーク経由での実験は今後の課題であるが、LAN 接続での動作確認をすることができた。50Mbps による HDTV MPEG2 伝送は、極めて高品質な画像であり、医療分野など高品質画像を必要とする分野への応用が期待される。

本実験では他のトラフィックの影響をほとんど受けない環境で行った。しかしインターネットを介して利用する場合には通信回線自体で発生するジッタはもちろん、途中のルータでのルーティング処理によって発生するジッタ、パケットロスに対する対策等を行なう必要がある。現在受信ホストでのバッファリング、ハードウェアシェーピング、冗長コードの追加によってこれらの

ジッタとパケットロスへの耐性を持たせるように拡張を行なっている。実装の最適化およびジッタとパケットロスに対する耐性能評価が今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は広島県が推進する情報トライアングル実験ネットワークを利用して行っている。伝送実験等に関して広島市立大学前田香織助教授、小鷹狩晋氏をはじめ同大学大学院生諸氏、並びに特定非営利活動法人中国・四国インターネット協議会関係者にご協力頂いた。また、HDTV 実験については沖電気工業株式会社殿にご協力頂いた。各位のご協力に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Deering, R. Hinden: Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, RFC 2460, December 1998.
- [2] Macedonia, M. and Brutzm, D.: Mbone Provides Audio and Video Across the Internet, IEEE Computer, Vol.27, No.4, pp.30-36, Apr.1994.
- [3] 藤原 洋監修: ポイント図解式最新 MPEG 教科書, アスキー出版局, 1994.
- [4] 石田, 国井, 林, 中倉, 稲垣: JGN 等を使った広域マルチキャスト映像中継実験, 情報処理学会研究報告 2000-DSM-18-9, pp.43-48, 2000.
- [5] S. Kent, R. Atkinson: Security Architecture for the Internet Protocol, RFC 2401, November 1998.
- [6] KAME Project: <http://www.kame.net/>.
- [7] Netperf: <http://www.netperf.org/>.
- [8] R. Atkinson: IP Authentication Header, RFC 1826, August 1995.
- [9] R. Atkinson: IP Encapsulating Security Payload (ESP), RFC 1826, August 1995.
- [10] 有賀, 南, 江崎: IP Security ソフトウェア処理の性能評価, インターネットコンファレンス'99, pp.57-66, 1999.