

第 22 部

Asian Internet Interconnection Initiatives

第 1 章

Introduction

1.1 AI³ Project and Its Overview



AI³ (Asian Internet Interconnection Initiatives) プロジェクトは、アジア地域へ展開する独自のネットワーク実験運用基盤を持つ国際研究コンソーシアムである。ネットワークは衛星通信路から構成され、通信衛星として(株)日本サテライトシステムズの JCSAT-3 を利用している。1999 年 3 月の時点では、日本、インドネシア、香港、タイの大学研究機関が同衛星を経由する衛星通信により IP 相互接続されている。

利用周波数帯域は JCSAT-3 が提供する Ku-band で運用されており、送信周波数は 14 GHz 帯を、受信周波数は 12 GHz 帯を各国の AI³ 地球局が使用している。

AI³ プロジェクトは 1995 年 10 月に WIDE プロジェクト内で発案され、アジア地域における国際的な情報通信基盤の構築に向けて、1996 年より衛星通信路を用いたネットワーク実験運用基盤の構築に着手した。1996 年 9 月における奈良先端科学技術大学院大学への AI³ 地球局の建設に始まり、1997 年 7 月には Phase I で計画された衛星ネットワークトポロジが完成、AI³ partner と呼ばれるプロジェクトメンバによる現在の相互運用に至る [135]。

TCP/IP アーキテクチャにもとづく衛星ベースのネットワーク実験運用基盤は AI³ ネットワークと呼ばれる。その目標として、AI³ ネットワークを展開・蓄積したアジア各国の AI³ partner およびその共同研究グループ間で技術知識や運用経験の共有、インターネット技術の共同研究開発を掲げており、アジア各国におけるインターネット通信基盤の整備促

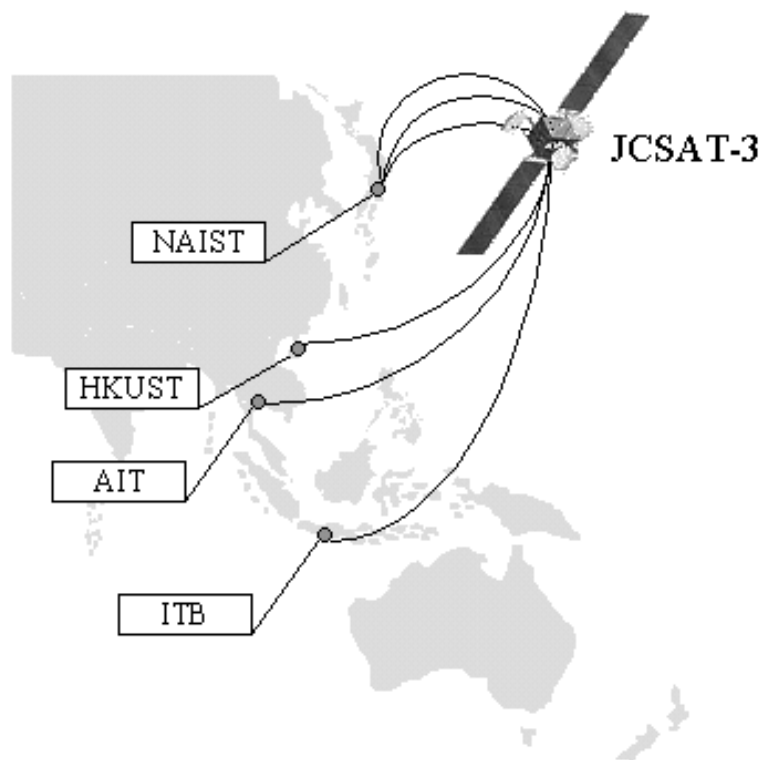


図 1.1: AI³ Network Infrastructure

進や研究活動の活性化もその視野に含まれている。

1.2 AI³ Network Infrastructure

1999 年 3 月の時点における AI³ ネットワークを図 1.1 に示す。図中の NAIST は日本の奈良先端科学技術大学院大学 (Nara Institute of Science and Technology) を、ITB はインドネシアの Institute of Technology, Bandung を、HKUST は香港にある Hong Kong University of Science and Technology を、AIT はタイにある Asian Institute of Technology を、それぞれ指している。

AI³ ネットワークは NAIST サイトを中心に ITB、HKUST、AIT の各サイトがスター状に結合されている。図 1.1 中に実線で示された通信路は 1.5 Mbps の双方向衛星回線である。NAIST と他の三つのサイト間の RTT は、衛星が静止衛星軌道上にあることから約 500 ms を要する。一方、接続形態がスタートポロジであることから、NAIST を除くサイト間の通信における RTT は、衛星を 2 回ホップするために約 1 秒強となる。

AI³ ネットワークを構成する衛星ゲートウェイは RISCOm 社の高速シリアルカードを挿した PC 互換機であり、搭載 OS は BSD/OS または FreeBSD である。BSD 系 OS を搭載する衛星ゲートウェイ間で衛星 1 ホップあたり平均 120 kbps の TCP スループットが観

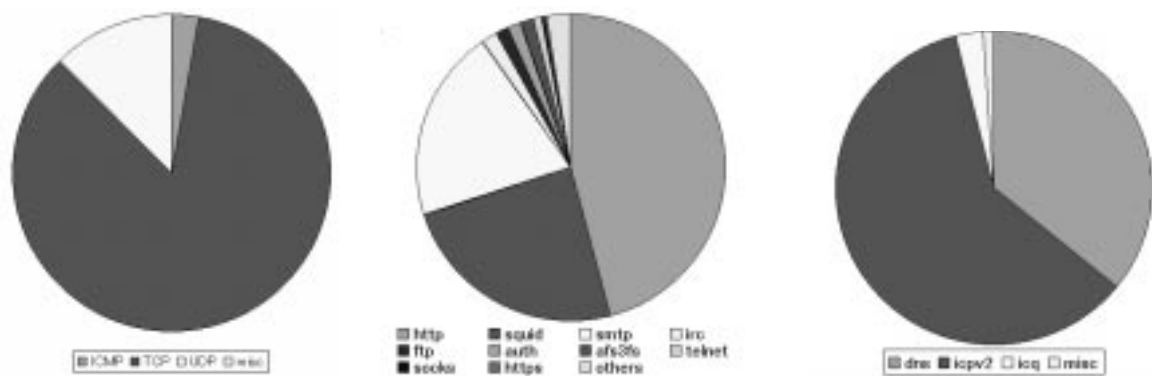


図 1.2: Protocol Ratio in AI³ Satellite Link (eg. NAIST - ITB)

測されており、また、NAIST を経由した衛星 2 ホップの通信では、56 kbps 程度の TCP スループットが衛星ベースのライブネットワークで観測されている。

参考までに AI³ ネットワークにおける IPv4 のプロトコル内訳を図 1.2 に示す。この統計データは 1999 年 5 月 4 日の午後 7 時 (日本時間) において、約 10 分間 tcpdump によって衛星ゲートウェイで観測されたデータに基づいている。観測した衛星回線は、日本 - インドネシアである。インドネシアの場合、ITB を中心に 26 大学以上が共同研究する形で AI³ ネットワークを幹線的に利用している。図 1.2 によると、観測された IPv4 パケットのうち、TCP の利用割合が 85% と最も多い。次いで UDP が 12% と続く。TCP の内訳を見ると、http が 47% を占めて最も多く、次いで AI³ ネットワークで Web Cache を配送する Squid が 25%、SMTP が続いて 20% と観測された。一方、UDP の分布では、60% が Squid サーバ間で利用される ICPv2 とトップを占め、次に DNS が 36% と観測された。AI³ ネットワークでは、後述する AI³ Cache Bone を Squid ベースで運用しているため、日本 - インドネシア回線では、TCP、UDP とともに Squid が利用するパケットの割合が多いという結果となった。このような結果に関する関連研究活動として、AI³ プロジェクトでは Web キャッシュサーバによる回線の帯域消費量とキャッシュヒット率に関するトレードオフの研究が現在行われている。

AI³ ネットワークは AS 番号 4717 の割り当てを APNIC から受け、経路制御手法として BGP-4 over satellite により WIDE (AS2500), ITB (AS4796), AIT (AS4767), HKUST (AS3363) と BGP 経路情報を交換している。参考までに図 1.3 から図 1.5 に 1997 年 7 月から 1998 年 8 月までの一年間の IPv4 のトラフィック統計を示す。上図から下図へ向けて ITB, HKUST, AIT の順である。2.3 節で後述するように HKUST は 1998 年 4 月に衛星送信回路に故障が生じてしまったため、以降はトラフィックが記録されていない。ITB に関しては、8 月時にトラフィックが記録されていないが、7 月末以降、異なる衛星ゲートウェイを利用したために、8 月以降は同一ゲートウェイを対象とした統計グラフにトラフィックが

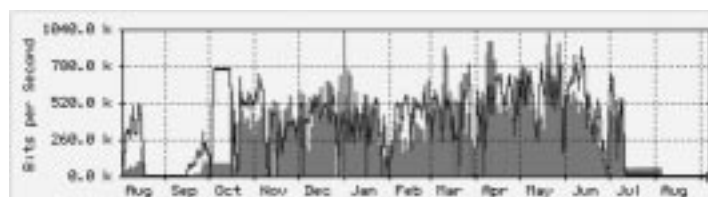


図 1.3: AI³ Yearly Statistics of JP-ID Link in 1998

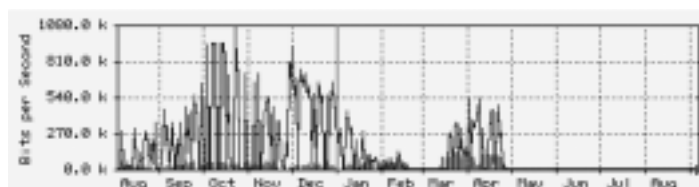


図 1.4: AI³ Yearly Statistics of JP-HK Link in 1998

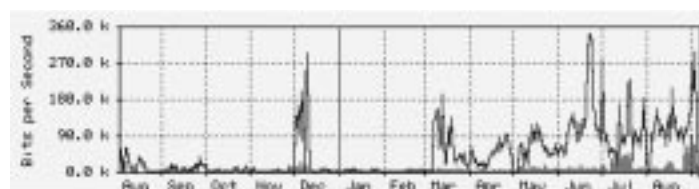


図 1.5: AI³ Yearly Statistics of JP-TH Link in 1998

現れてきていない。

AI³ ネットワークは JP-Mbone へ接続する形で AI³ Mbone を構築している。AI³ Mbone では AI³ partner 間のマルチキャスト通信実験を円滑に行なうために、AI³ scoped address を宛先として持つマルチキャスト通信に関して 800 kbps に通信制限の上限を設定している。

NAIST と AIT の研究グループを中心に AI³ ネットワーク内では階層型の Web Cache システムが運用されている。Hub Cache と呼ばれる Web Cache が 20 GB の Cache ディスクを持って NAIST に設置され、他の AI³ NOC には Rim Cache が Hub Cache を親 Cache として階層的に接続されている。AI³ partner サイトは Rim Cache を参照することにより、衛星回線上を流れる Web トラフィックの削減、ならびにユーザ側におけるサーバレスポンス時間の改善をはかっている。

第 2 章

AI³ Partners' Status Report

AI³ partner とは、AI³ 地球局を持ち、AI³ のネットワーク実験運用基盤を共有する研究機関が構成メンバである。1999 年 3 月の時点で、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST)、Institute of Technology, Bandung (ITB)、Hong Kong University of Science and Technology (HKUST)、Asian Institute of Technology (AIT) から構成される。上記 4 組織に (株) 日本サテライトシステムズ、WIDE プロジェクトが加わって AI³ プロジェクトという国際研究コンソーシアムが形成されている。

ここでは AI³ 地球局を運用する各 AI³ partner のサイトごとに 1997 年から 1998 年における主たる活動報告と 1998 年度末における現状報告をする。

2.1 Japan – NAIST

NAIST は 1996 年 9 月に AI³ 地球局を設置して以来、AI³ ネットワークの運用において中心的役割を果たしてきた。その役割とは、WIDE Internet との安定したネットワーク接続であり、複数の AI³ 地球局との衛星通信の安定運用であり、スタートポロジ型のネットワークの Hub サイトとして、Rim サイトとなる他の AI³ partner が必要とするネットワークサービスの提供である。

上述したネットワーク運用上の活動に加えて、NAIST の研究グループは以下の研究プログラムに対して取り組んできた。

- Adaptive Web Cache
- Network Monitoring

Adaptive Web Cache に関して、NAIST グループは Hub Cache を NAIST 内の AI³ ネットワークに設置して、Adaptive Web Cache の実装・運用に AIT のグループとともに共同であった。また、IDU (In Door Unit) モニタリングやスペクトラムアナライザによる受信電力モニタリングのためのツール実装により、通信不具合時の障害切り分けを容易にできるようにした。

図 2.1: AI³ Earth Stations図 2.2: Inside of AI³ NAIST Earth Station

また、NAIST で必要とされたいくつかの保守上の活動に関して、特筆すべき点についてのみ、ここに報告する。AI³ 地球局の NOC 運用保守においては、次のような衛星通信設備（図 2.1 ならびに図 2.2 参照）に関して専門的な知識や運用経験が必要となる。

まず、1997 年 8 月に NAIST のアンテナ方向調整を行なった。NAIST へアンテナ設備が納入された時に、アンテナの方向が正確に衛星に向いていなかったことにより、24 時間周期で受信電力の変動幅が最大 3dB 観測されたため、ノミナルポイントにおいてアンテナ方向を微調整した。この受信電力の変動は、3.1.2 で後述する NAIST で運用している受信電力モニタリングにより発見された。

次に 1998 年 6 月に Downconverter へ BPF * を新たに取り付けた。AI³ ネットワークの運用を開始した当時、衛星回線は混雑しておらず、Downconverter（以下 D/C）に BPF を取り付けていなくても、受信電力が D/C のアンプを飽和させる事態は発生しなかった。しかし、近年デジタル CS 放送の普及に伴い、AI³ 通信帯域の近接帯域を衛星放送波が

*BPF – band pass filter

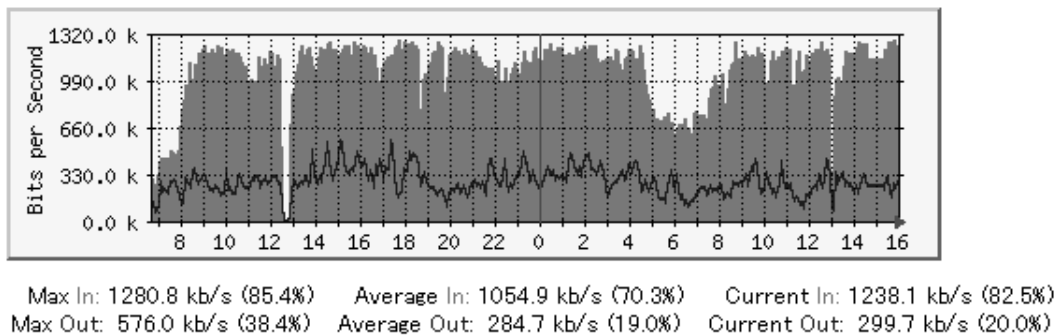


図 2.3: A Daily Statistics of AI³ Link at ITB

利用しはじめた。その結果、1997年12月頃にD/Cのアンプが飽和し、地球局のうち受信設備が全く利用できなくなった。そこで、BPFを取り付ける事で回線の利用を従来と同様に利用できるようにする必要があった。

また、1999年3月には、屋外無線設備保守として送信設備内のTWT[†]の交換を行なった。NAISTのAI³地球局で利用するようなTWTの寿命は、連続運用したときは通常2年ほどしかなく、TWTの寿命を迎えたために交換を要した。

2.2 Indonesia – ITB

ITBは1996年10月にAI³地球局を設置して、AI³ネットワークの共同研究利用を開始した。

1999年3月の時点における主たる活動項目は、インドネシアの26大学以上の協力によるAI³ネットワークへのライブトラヒックの提供をはじめとして、adaptive Web cache、IPv6、遠隔教育/遠隔学習、ネットワーク管理である。

また、AI³ネットワークを通じてアクセスできるインドネシア国内のネットワークにおける電子図書館ネットワークの構築にも力を注いでいる。

図2.3に1999年5月2日(日)におけるITBのAI³ネットワーク利用統計を示す。平素より利用の頻度が高く、ほぼ伝送容量一杯まで利用していることがわかる。

2.3 Hong Kong – HKUST

HKUSTは1997年2月にAI³地球局を設置して、AI³ネットワークの共同研究利用を開始した。

[†]Traveling Wave Tube – 進行波管

マルチメディア通信に力を入れている HKUST では、1997 年の香港返還日に香港の地元放送局 TVB (The Television Broadcasts Limited) と共同で、中国本土への香港返還の様態を、AI³ ネットワークを経由して全世界に向けて Mbone 中継した。このような活動に代表されるような AI³ Mbone の利用実験や AI³ Adaptive Cache Project への参加という形で活動してきた。

1998 年 4 月に HKUST は AI³ 地球局の送信部に故障が生じたため、1998 年度中は AI³ ネットワークを利用できなかった。故障箇所の修理は 1999 年 5 月初旬に予定されている。AI³ ネットワークへの復帰後は下記に示す項目に焦点を当てて活動予定である。

- vBNS[‡] connection via AI³ for NCAR[§] weather data transmission
- experiencing the 6bone
- AI³ adaptive Web cache project and IP multicast

現在 HKUST は米国の NCAR と Numerical Weather Analysis and Prediction System に関する共同研究に従事している。NCAR は東南アジア地域も含めた気象情報を所有しており、気象情報を核とした他のアジア各国との共同研究も検討されている。

2.4 Thailand – AIT

AIT は AI³ 地球局の設置後にあたる 1997 年 7 月から AI³ ネットワークの共同研究利用を開始した。

AIT の研究グループは以下の研究プログラムに対して取り組んでいる。

- Adaptive Web Cache
- Distant Learning
- Ku-band Link analysis and rain attenuation

Adaptive Web Cache については、ユーザのアクセスパターン分析にもとづく Hub Cache サーバにおける知的キャッシュ先読みと、Hub から Rim Cache への Web Cache の Multicast プッシュが基本アプローチとなる。NAIST に設置された Hub Cache と他の AI³ partner サイトへ設置された Rim Cache の運用評価や AI³ Cache Bone の構築に関して力を注いでいる。

また、SNMP を用いて衛星通信を用いたデータリンク情報の記録統計を開始した。記録データは AIT 内のデータベースへ格納して、他のネットワークレイヤの情報や気象情報などの情報との関連付けを検討している。

[‡]vBNS – <http://www.vbns.net/>

[§]NCAR (National Center for Atmospheric Research) – <http://www.ncar.ucar.edu/>

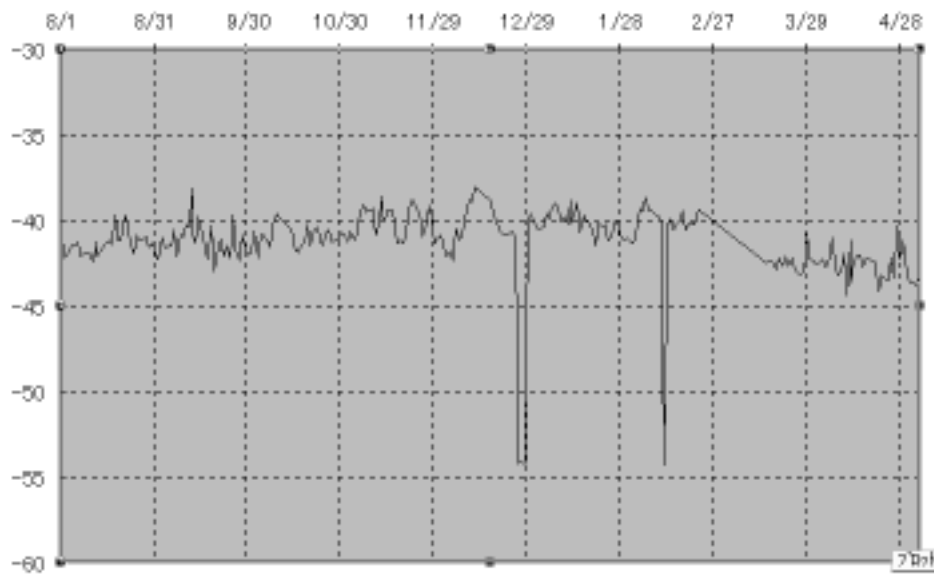


図 2.4: Signal Power Transition of Radio Wave Sent from AIT

一方、3.1.2 で後述するモニタリングシステムによると、AIT から Uplink[¶]された信号を NAIST で Downlink^{||}した受信レベルが 2 月下旬から徐々に落ちつつあるのを観測した。図 2.4 にその観測記録を示す。図の中で横軸は 1998 年 8 月から 1999 年 5 月にかけての日付を示し、縦軸は受信電力 [dBm] である。定常時より約 3dB ほどの落ち込みが 1999 年 5 月初旬までの 2 カ月ほどの間、続いていることがわかる。AIT に対して AIT の AI³ 地球局の送信機材に問題がないかどうかの調査、または、アンテナの方向の再調整か送信電力の増強の検討を NAIST から依頼している。

[¶]Uplink: 衛星に向けて送信すること

^{||}Downlink: 衛星から受信すること

第 3 章

AI³ Operation and Research

AI³ は AI³ partner 間でネットワーク実験運用基盤を共有している。基盤の共有には、AI³ ネットワークを通じて導入されるインターネット技術に関する運用経験の蓄積や専門知識の獲得を促進するという狙いがある。また、衛星通信に特化したインターネット技術の共同研究開発を行なうための共有実験環境でもある。

3.1 Satellite Based Network Monitoring System

衛星ベースの TCP/IP ネットワークで発生する通信上の問題を解決するためには、どのレイヤで問題が発生しているのかを容易に切り分けできることが望ましい。そこで、遠隔地に分散された衛星地球局は複数の通信機器から構成されているため、遠隔地から機器の通信状況を監視できる機能が必要である。また、設備の経年劣化や通信異常を検出するために、日常から正常な運用状況を定義する正常運用値の把握ならびにデータの変動記録が必要である。

AI³ では、独自に衛星ネットワーク監視システムを開発しており、衛星通信上の障害検出を容易にしている。ここでは IDU 監視システムと受信電力監視システムについて述べる。

3.1.1 IDU Monitoring

AI³ では、AI³ 衛星ネットワークの円滑な運営及び管理を目的として、衛星通信設備の IDU (In Door Unit) を WWW により遠隔監視するシステムを独自に実装している。Ku-band をアジアの亜熱帯地域で通信周波数帯として利用する AI³ では、降雨減衰などによる通信路の品質劣化への影響を観測する必要がある。地上網の専用線とは異なり、天候等によって左右される通信路の品質に配慮したネットワーク運用が要求される。

利用している IDU は、NEC 社製 NEXTAR と ComStream 社製 CM701 である。既存の WWW によるトラフィック監視ツールとしては、MRTG (The Multi Router Traffic Grapher) が知られており、NOC 運用に広く利用されている。本システムはその MRTG をベースとして作成されており、IDU の監視ポートから定期的に得られる情報を視覚化している。

Last value collected:

Eb/No Level: 79.0 dB (on the graph, in blue, scale on the left)

AGC Level: 79 (on the graph, in green, scale on the right)

‘Daily’ Graph (Refresh rate 5 Minute, last update 01/05/99 18:00)

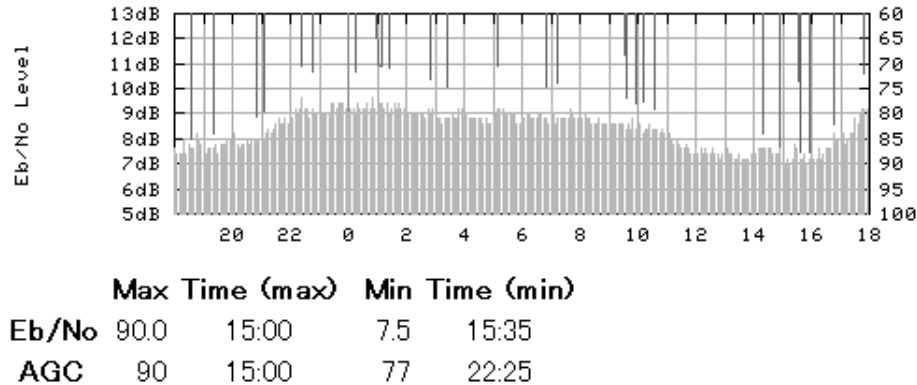


図 3.1: A Result of AI³ IDU Monitoring at AIT

IDU 上で監視できる情報には、AGC 入力レベル、Eb/No レベル、BER (Bit Error Rate)、RCFOS (Receive Carrier Frequency Off Set)、Sync loss 警告、IDU 警告などがある。

1999 年 5 月 1 日に AI³ AIT NOC において観測された IDU の監視データ変動を WWW 上に視覚化したものを図 3.1 に示す。このデータは AIT に設置された CM701 のデータを監視して、IDU の監視対象として Eb/No と AGC 入力レベルを時系列に沿って視覚化している。

3.1.2 Receiving Signal Power Monitoring

NAIST NOC では、AI³ 衛星ネットワークの円滑な運営及び管理を目的として、各国からの電波の受信電力を測定している。測定項目は、インドネシア、タイ、香港からの受信電力、NAIST からの送信した電波の受信電力である。

測定には、アンリツ社製 MS2661A スペクトラムアナライザを用いており、測定の制御に AT 互換機を利用し、RS232C を使って制御及びデータの収集を行っている (表 3.1 参照)。ただ、MS2661A では、直接 12 GHz 帯の受信電力を測定する事はできないため、DownConverter により中間周波数帯へ切り替えて屋内用ケーブルを伝送される 140 MHz 帯で測定している。

本測定は、2.4 で述べたように、NAIST の屋外通信設備の故障や各国の送信設備の故障の即時発見、AI³ ネットワークが通信不能となった場合に障害の発見に有効である。

表 3.1 において、左から順に、測定 (年月日時分秒)、基準電力 (基準)、AIT から NAIST

表 3.1: A Result of Monitoring Each Received Singal Power

年	月	日	時	分	秒	基準	TH _{in}	TH _{out}	HK _{in}	HK _{out}	ID _{in}	ID _{out}
1998	12	17	10	14	00	-53.42	-38.84	-37.62	-54.01	-36.38	-38.39	-36.87
1998	12	17	10	14	30	-53.41	-38.83	-37.58	-53.99	-36.39	-38.37	-36.91
1998	12	17	10	15	00	-53.49	-38.83	-37.45	-54.06	-36.41	-38.49	-36.93
1998	12	17	10	15	30	-53.44	-38.78	-37.48	-53.99	-36.37	-38.53	-36.87
1998	12	17	10	16	00	-53.38	-38.72	-37.40	-54.08	-36.37	-38.53	-36.82
1998	12	17	10	16	30	-53.24	-38.66	-37.60	-54.16	-36.34	-38.53	-37.00
1998	12	17	10	17	00	-53.37	-38.73	-37.40	-54.12	-36.42	-38.63	-37.01
1998	12	17	10	17	30	-53.32	-38.84	-37.46	-54.06	-36.40	-38.46	-36.97
1998	12	17	10	18	00	-53.43	-38.83	-37.61	-54.05	-36.28	-38.43	-37.00
1998	12	17	10	18	30	-53.49	-38.78	-37.51	-54.09	-36.39	-38.68	-37.04
1998	12	17	10	19	00	-53.43	-38.77	-37.40	-54.09	-36.27	-38.50	-37.19
1998	12	17	10	19	30	-53.49	-38.76	-37.48	-53.96	-36.32	-38.46	-36.94
1998	12	17	10	20	00	-53.36	-38.75	-37.48	-54.03	-36.39	-38.48	-36.91
1998	12	17	10	20	30	-53.46	-38.71	-37.48	-54.15	-36.39	-38.44	-37.06
1998	12	17	10	21	00	-53.34	-38.85	-37.36	-54.09	-36.52	-38.32	-36.97
1998	12	17	10	21	30	-53.47	-38.81	-37.26	-54.23	-36.51	-38.35	-36.99

向け (TH_{in})、NAIST から AIT 向け (TH_{out})、HKUST から NAIST 向け (HK_{in})、NAIST から HKUST 向け (HK_{out})、ITB から NAIST 向け (ID_{in})、NAIST から ITB 向け (ID_{out}) の受信電力 (dBm) を示す。表 3.1 にあるように受信電力の変動を 30 秒ごとに記録する一方で、観測情報の変動を容易に観測できるように WWW で受信電力値の推移を可視化している

図 3.2 に、ある時点における AI³ partner 各国から送信された電波の NAIST における受信電力の変動推移を示す。図の中で、衛星地球局の送信部に問題があって送信電力が低い場合や、正確に衛星の方向をアンテナが向いていない場合の変動例が示されている。例えば、図から全ての受信電力が 24 時間周期で変動していることが見てとれる。これは、この観測の時点で NAIST のアンテナの方向が衛星に正確に向いていなかったことを記録上、示している。また、受信電力の急激な減少は AI³ partner 国内でのスコールなどによる降雨減衰の影響と考えられる。

3.2 Multimedia Data Transmission Experiments

AI³ は 1997 年 7 月 1 日の香港返還において、H.261 フォーマットによる映像を 512 kbps の帯域を使って AI³ Mbone へ配信した。配信ソースは The Television Broadcasts Limited の協力のもと、英語、広東語の二つの音声チャンネルと、香港返還の様態を伝える NTSC 映像信号を利用した。

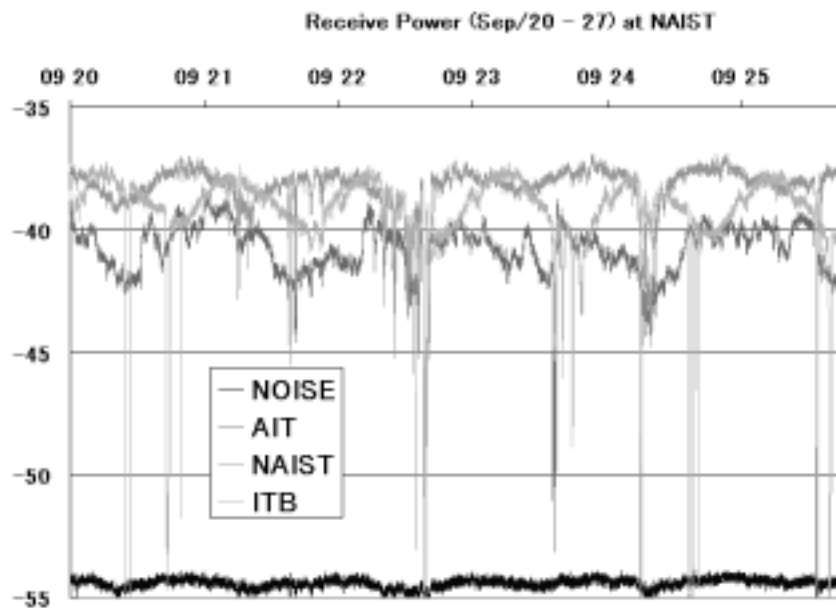


図 3.2: An Example of Receiving Signal Power Transition in Case of Fault or misadjustment of Antenna:

上記テレビ局の TV 広告とともに 香港返還を 中継する映像と音声が、28.8 kbps の Real Video で全世界に向けて公開され、24 時間にわたるインターネット放送を通じてインターネット上の視聴者数は大多数へのぼった。一方、AI³ Mbone に限定される 512 kbps の Mbone セッションでは、終始 3 ~ 8 fps の高品質映像をマルチキャストできた。音声に関しては途切れることなく、ストレスを全く感じない音声品質を維持した。マルチキャスト配送に関する実験結果は、HKUST から配信されるマルチキャスト映像を NAIST で AI³ Mbone へ join している計算機にてフルフレームで画面キャプチャしたものを HKUST の実験グループへ手渡した。映像データを手渡すにあたり、画面キャプチャした映像を NTSC 信号へ変換出力後に NTSC/PAL 方式でビデオ録画したテープを作成した。

AI³ プロジェクトは 1997 年には UNFCCC/COP3 * † に対して、1998 年には UNFCCC/COP4 ‡ におけるコンファレンスのインターネットビデオ中継へ協力した。コンファレンス中継はオンデマンド形式とライブ中継形式の二種類が用意され、RealSystem による多国語中継がインターネット上で行なわれた。AI³ ネットワークに接続されるインドネシアの ITB、香港の HKUST、タイの AIT へ RealSystem の映像ストリームの中継サーバにあたる splitter サーバを用意して、20 kbps 程度の映像と音声を各国のインターネット

*UNFCCC - <http://www.unfccc.de/>

†COP3 - <http://www.cop3.ckp.or.jp/>

‡COP4 - <http://www.cop4.org/>

ユーザへ配信した。

3.2.1 AI³ 6bone

現在、次世代のインターネットプロトコルとして期待されている IPv6 に関する研究活動が世界中で行われている。その多くは、IPv6 のテストベッドである 6bone 上で研究されている [72]。

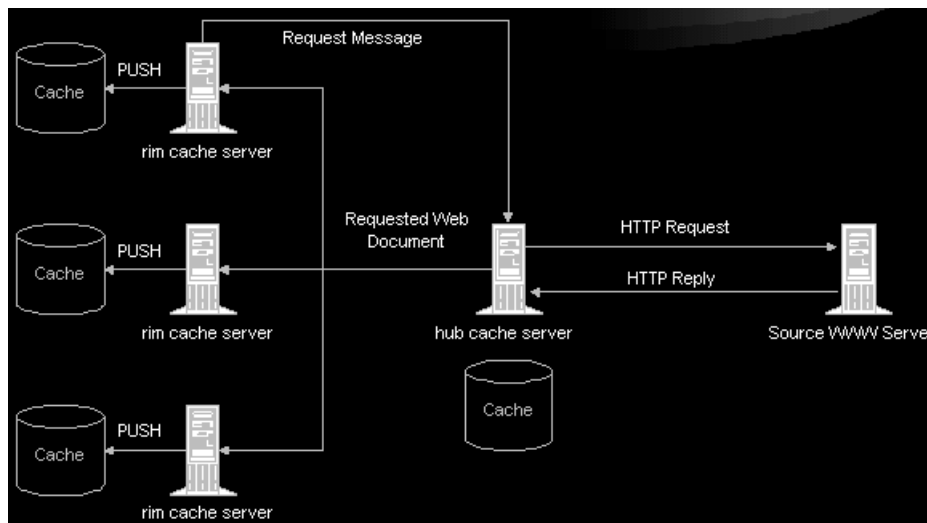
そこで、AI³ において IPv6 についての研究活動を行うために、AI³ ネットワーク上に IPv6 テストベッド AI³ 6bone を構築する。AI³ 6bone の運用開始は、4.1 で後述する 1999 年 3 月の Phuket 会議において決定された。

AI³ 6bone の目的は、IPv6 を研究するための基盤としての役割もさることながら、AI³ ネットワーク自体が、世界的に類を見ない衛星メディアをバックボーンとするネットワークである。よって、この特性を利用した研究も 6bone 上で行うことを予定している。例えば、ブロードキャスト型メディアである衛星回線における IPsec の実験などである。

3.3 AI³ Cache Bone

The hierarchical WWW cache formation for providing both higher hit rates and saving the overall bandwidth consumption through fetching WWW objects and redistributing them among members caches periodically is proposed as an application on satellite Internet infrastructure. With regularly prefetching and distributing of WWW objects, our system can utilize the satellite Internet with continuous streaming data transmissions for efficient WWW caching scheme. Our system consists of a single Hub cache and several Rim caches. The hub cache is a core unit which is located at the satellite hub station and gathers WWW object from the Internet, while the rim cache fetches requested WWW objects from the hub cache as well as receives WWW objects being pushed from the hub cache. The rim cache analyzes the user access pattern to generate the list of the frequently accessed URLs that should be prefetched. The prefetching strategy of the rim cache is based on the statistical pattern analysis of user accesses [34]. The traffic monitoring is used to manage both prefetching and object push operations. In order to reduce the consumption of bandwidth in the satellite Internet, the multicast transmission of the WWW object is introduced to multicast the prefetched Web document from the hub cache to all connecting rim caches. Furthermore, cached objects are checked regularly with 'if-update' tag so that their consistency can be kept with a reasonable overhead.

In AI³ Adaptive Cache project[68][69], we design and implement the AI³ CacheBone with our adaptive scheme of hierarchical WWW cache formation. The Figure 3.3 shows AI³ CacheBone. Through our experiments[119], we can show that the performance of

图 3.3: AI³ Cache Bone

our rim cache is greatly improved by approximately three folds when compared with an ordinary hierarchical cache system such as Squid.

Now, we have finished all the implementation of the adaptive cache including the multi-cast push caching. The average of the current hit rate at AIT/CS cache is above 50%[§].

[§]<http://www.cs.ait.ac.th/cache/prostat.html>

第 4 章

Future Direction

AI³ プロジェクトの今後について、いくつかの課題やトピックスについて述べる。

4.1 AI³ Phase II / C-band

AI³ プロジェクトでは 1999 年中頃をめどに Phase II [134] へシフトする。AI³ Phase II では従来の Ku-band に加えて新たに C-band を利用する AI³ 地球局を日本国内に準備する。この新たな地球局の設置場所は慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス (SFC) 内が予定されており、1999 年 5 月の時点では直径 7.6 m のアンテナが建設中の段階にある。Phase II 以降は、地上のネットワークで高速に接続された NAIST と SFC の二つの地球局から、Ku-band および C-band の衛星回線を用いてスター状にアジア地域の複数の大学研究機関を接続する計画となっている。

Phase II では、C-band を利用して IP 相互接続する AI³ C-band partner がアジア地域から複数サイト、新たに参加する予定である。図 4.1 に 1999 年 3 月にタイのプーケットで開かれた AI³ 会議の様子を写した写真を数点掲載する。このようにアジア各国から熱心に AI³ Phase II への期待を込めて、共同研究計画に関して会議の参加者からプレゼンテーションされた。この会議へ参加した研究組織が所属する国別一覧は、日本、インドネシア、中国 (香港)、タイ、シンガポール、マレーシア、ベトナム、フィリピン、ネパール、スリランカとなった。また、直接は今回の AI³ プーケット会議へ参加してこなかったものの、中国 (大陸) と台湾にある研究機関から、Phase II の共同研究に関してコンタクトを受けている。

AI³ プロジェクトでは、タイのプーケット会議を契機として、上記にあるアジア各国の研究機関との共同研究の目標設定や協調活動の体制作りを進めつつある。AI³ 6bone や Cache Bone、マルチキャストや遠隔学習 / 遠隔教育、衛星ベースのネットワーク運用評価などである。オンラインでこうしたテーマに関して議論や協調活動が行なわれている。なお、今回の AI³ 会議は 1999 年 10 月にベトナムで予定されている。

図 4.1: AI³ Phuket Meeting

4.2 Tight Collaborations with Other Organizations

1998 年秋から APAN TransPAC*が運用に入り、各 AI³ partner は APAN AI (Authorized Institutions) として APAN TransPAC の共同研究利用を開始した。アジア地域の APAN[36] と米国の vBNS 間を結ぶ TransPAC を利用することにより、教育研究分野における国際的な共同研究の活性化が期待されている。

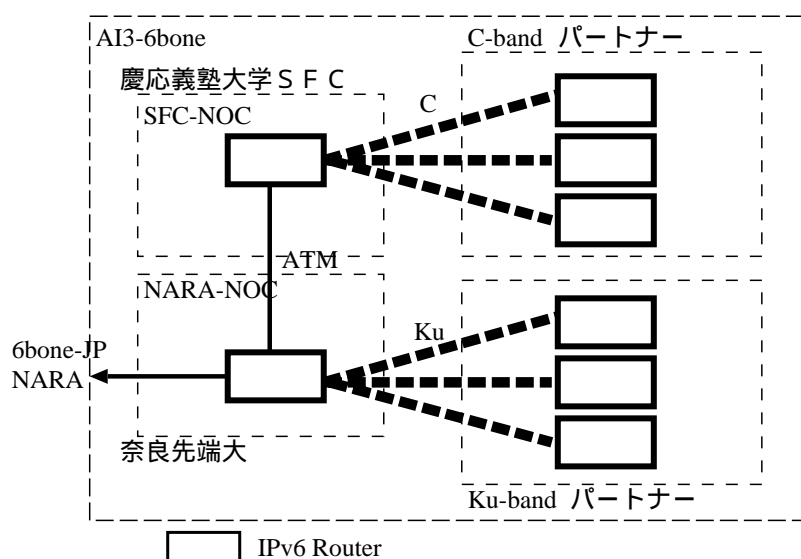
例えば HKUST は、NCAR とともに、多変量気象情報解析と気象予報システムに関する共同研究を行っており、両者の間では分散環境におけるモデリングシステムを研究運用している。具体的には NCAR から気象情報に関する基礎データをネットワークで受信した後に、HKUST で解析したデータや映像、解析結果を NCAR の研究者や他の共同研究者へネットワークを通じて提供する。この時、200 MB ほどのバルクデータのデータ伝送が一日あたり何度も発生する。このような場合に、AI³ と APAN TransPAC を利用することにより、米国にある NCAR との間のデータ伝送に必要とされるネットワーク帯域を確保できれば、研究のさらなる進展が期待できる。

AI³ プロジェクトは、WIDE や APAN といった広域の教育研究ネットワークとの高速な IP 相互接続を通じて、全ての AI³ partner へ広域ネットワークを利用した共同研究の機会を積極的に提供することが期待されている。例えば米国では、Internet2[†] の研究者らを中心に、広域ネットワークにおける品質保証技術 DiffServ [83] の研究開発やライブネットワークを利用した相互運用に関する実証研究[‡]が取り組まれている。AI³ プロジェクトは、衛星通信の伝送路を持つことを活かしてこうした研究活動に積極的に参加することを検討中である。また、衛星通信に適したマルチキャストや UDLR 技術 [52] と絡めた QoS ルーティングに関する要素研究や応用研究が AI³ プロジェクトの研究課題として期待されている。

*http://www.transpac.org/documents/news_980921.html

[†]Internet2 – <http://www.internet2.edu/>

[‡]Qbone – <http://www.internet2.edu/qos/qbone>

図 4.2: AI³ 6bone

4.3 AI³ 6bone

現在計画中の AI³ 6bone の構成図を図 4.2 に示す。

図 4.2 に示すように、AI³ 6bone は 6bone JP[§] から IPv6 アドレスブロックとして NLA1 を割り当てられており、6bone JP に接続されている。そして AI³ 内では、奈良先端科学技術大学院大学に位置する Ku-band partner 用の AI³ NAIST NOC と C-band partner 用の AI³ SFC NOC の 2 つの NOC からスター状に接続される。その接続方式を次に示す。

1. トンネルベース (IPv6 over IPv4)

IPv4 用の衛星回線への影響を考慮して、IPv4 パケットに IPv6 パケットを包んだトンネルによって、ネットワークを構築する。

2. IPv6 over Satellite

IPv4 と IPv6 を一つの衛星回線に混在してネットワークを構築する。衛星回線へのルータを IPv6 に対応した OS に変更しなければならないため、十分な検証が必要である。

最終的にはトンネルのないネットワークを構築するが、安定性の検証や IPv6 のアクティビティを考慮して柔軟な構築を計画している。

[§]<http://www.v6.wide.ad.jp/6bone/>

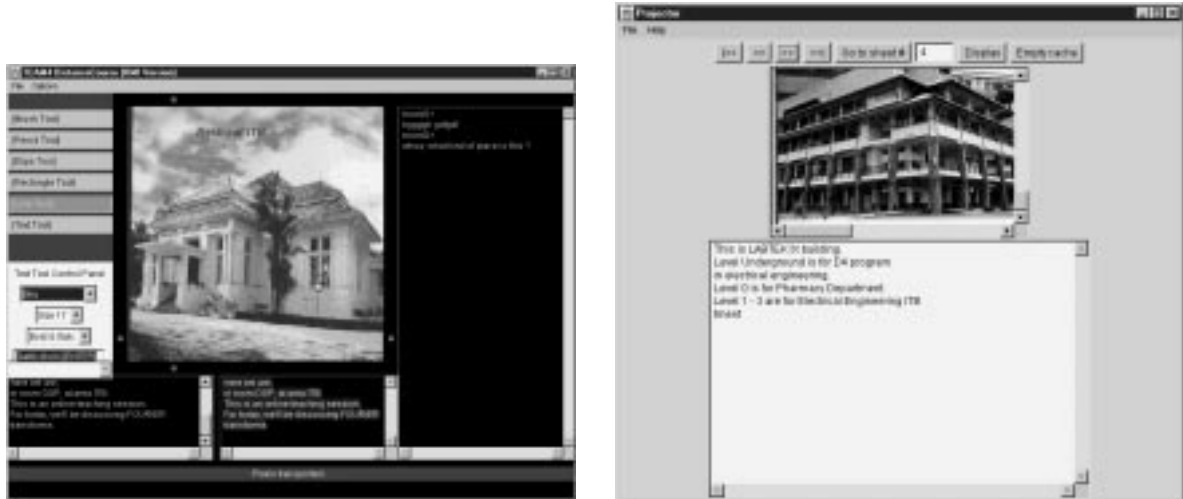


図 4.3: Java DCourse being developed by ITB

1999 年 4 月現在、既に AI³ 6bone は立ち上がっており、NAIST と AIT 間で運用されている。規模はまだ小さく、運用経験も不十分な状態だが、1999 年度中に、AI³ 6bone を通じて AI³ から IPv6 関連研究成果を発表することを計画している。

4.4 AI³ Distance Education and Learning

1999 年 3 月 31 日に AIT の DEC (Distributed Education Center) が開所式を迎えた。DEC[†] では、SOI[‡] にあるような RealVideo を組み合わせた工学に関する WWW ベースの講義オンデマンドを、ベトナムにある AIT ブランチとの間で既に実験的に運用している。AIT の AI³ Ku-band partner 達は、遠隔教育システムに AI³ ネットワークの衛星回線による UDL (Uni-Directional Link) を利用することを検討している。例えば、AI³ ネットワーク内で送信権をもつ AIT が UDL の送信局となり、他の機関の受講生は各機関に設置された受信専用の衛星 RO 局**をもって AIT の講義をオンラインで受けることができる、といったものである。

また、ネットワークの教育利用が社会的課題となっているインドネシアでは、AI³ Ku-band partner がいる ITB を中心に、Java ベースの遠隔学習ツール Java DCourse が研究開発され、ネットワークを利用した遠隔学習システムの研究が活発である。Java DCourse は Java Chat, Java Whiteboard, Java Projector, Java Newsticker という 4 つの Java コンポーネントから構成され、狭帯域の幹線利用であっても仮想的な教室が上記のツールを

[†]DEC – <http://www.dec.ait.ac.th/>

[‡]SOI – <http://www.sfc.wide.ad.jp/soi/>

**衛星 RO 局 – 衛星 Receive Only 局

利用してネットワーク上に実現できるよう、設計が工夫されている(図 4.3 参照)。各コンポーネントの役割はそれぞれ、共有されたホワイトボード、共有された通信チャネル、共有型の OHP 画面、掲示板といったものである。

一方、WIDE プロジェクトでは SOI がインターネット上でインターネット学科を開設して日本のインターネット環境における実証研究に取り組む他、アジア各国においても同種の研究プロジェクトが多く立ち上がっており、シンガポールでは既に民間の ISP の一サービスメニューとして商業化されている^{††}。

このような情勢の中、AI³ プロジェクトでは、アジア各国で各種各様に取り組まれている遠隔学習や遠隔教育システムにおいてアーカイブされたデータを共有したり、システムの開発者や研究者がアジア地域を対象に協調する際のネットワークインフラとして機能することが期待されている。例えば、AI³ プロジェクトを通じて運用経験や専門知識が蓄積された衛星インターネット技術に関して、AI³ プロジェクトの運用関係者らが講義資料化を行い、AI³ C-band partner として将来参加予定のサイトの運用技術者やアジア各国のエンジニアを対象として講義プログラムを提供しようという計画がある。このような計画に対して、AI³ へ参加する WIDE プロジェクトの SOI メンバや ITB, AIT などの関連研究グループ、AI³ C-band partner 候補サイトのメンバらが現在、コース内容の立案等を共同で作業中である。AI³ ネットワークという共有インフラのもと、これまで個々の国々で行われてきたシステム開発やアーカイブデータの協調がアジア地域で始まりつつある。

4.5 AI³ Cache Bone

As our future plan, AI³ Cache working group will focus on performance analysis on the prefetching algorithm as well as intelligent push and pull strategies. Also our group starts to consider modelling of collaborative caches. From the operational viewpoint, we will install and run adaptive cache at all AI³ sites in order to construct AI³ Cache Bone[74]. Furthermore we will experiment pushing technology with UDLR.

4.6 Asymmetric Satellite Links and UDLR

1.2 で先述したように、1999 年 3 月末の AI³ ネットワークは、双方向とも 1.5 Mbps の通信帯域を持つ対称な衛星回線を利用している。しかしながら 1999 年度中に、非対称な通信帯域を持つ衛星回線を利用するように回線設計しなおすことで、トラヒックが非対称な回線利用の実情に対応する。

また、UDLR 技術 [52] を活かした実証研究の実験基盤でもあってほしいとの研究者からの要求に答えるべく、既存の point to point の通信形態へ加えて、UDL (Uni-Directional

^{††}OLE (Online Learning Environment) – <http://ole.tp.ac.sg/>

Link) をも含めたネットワーク構成が現有設備を利用して構成できないかどうかを検討中である。

