

時間変動する情報流通ネットワーク アーキテクチャ設計書

Version 1.0 (2012.4.25)

Copyright© 2012 情報通信研究機構 NTT 未来ネット研究所 KDDI 研究所
日立製作所 NEC 大阪大学

時間変動する情報流通ネットワークアーキテクチャ設計書

インターネットの普及に伴い、情報流通を促進する配信技術や情報獲得のための検索サービス技術は高度化し、我々は短い時間で多くのコンテンツ（消費者であるユーザにとって価値ある情報）を得られるようになっている。しかし、現状の配信サービスでは、配信側の価値判断に基づいて情報を配信する仕組みは確立されているが、最終的な価値の享受者であるべきユーザにとっての価値は十分に反映されていない。市場調査やユーザコメント等により価値のフィードバックを得る試みもなされているが、その反映には時間を要する。新たなビジネスを展開する鍵は、ユーザ個人の嗜好などの価値基準をいかに早く把握し、それをサービスに反映するかである。そのためには、日常から、ネットワーク上の情報を取得・分析し、それを価値ある情報に変え、ユーザの周辺に遍在させる仕組みを実現すること、また、新規サービス提供者がその仕組みを簡単に利用できるようにすることが必要である。現在、配信サービスや情報検索サービスはクラウドサービスとして高度化されつつあり、クラウドサービスを介したユーザ間の情報交換も実現されつつある。しかしながら現状では、ユーザが意図的に交換相手を指定する必要があり、より柔軟なコンテンツ流通を促す機構が今後必要である。

コンテンツは今広く流通するようになってきているが、その結果、ネットワークは以前にも増して混雑してきている。基幹網やアクセス網を高速にしても、それを使い切る大量のコンテンツがすぐに流通する。一般に、コンテンツ事業者とインフラ事業者は異なり、また、インフラ事業者がユーザに提供している回線の料金体系は定額制が主流である。すなわち、インフラ事業者はコンテンツ流通の発展に伴う収益を直接得られない構造となるために、回線容量を増やす動機付けは希薄となってしまう。コンテンツを混雑なく流通させ、ユーザに安定したサービスを提供するためには、トラフィック量を測定・分析・予測し、設備設計をして回線増強を行う従来のネットワーク設備設計手法ではなく、コンテンツ配置とその流通までも含めて混雑のないネットワークを効果的に構築するためのまったく新しい仕組みが必要である。特にモバイル端末の高速化・高機能化に伴い、アクセス網におけるコンテンツを含めた情報流通の効率化は喫緊の課題である。

本稿では、移動端末やデバイスから時々刻々と常に送出される情報の流通に適したネットワークアーキテクチャ設計を提示する。特に、単なる情報収集や交換だけでなく、価値を付加してユーザに対して有益な情報を提供するまでの一連のプロセスを包含した情報流通ネットワークアーキテクチャをターゲットとする。2012年現在、モバイル端末から twitter やインターネット掲示板などを用いて文字や映像情報を容易にアップロードできるようになっている。また、現在、ユーザは様々な地域の情報を伝えたり、あるいは、特定の地域情報やイベント情報に関して様々な異なる視点から発信したりしており、我々はネットワークにアクセスすれば時々刻々と送出され更新される最新の情報を取得できる。例えば、2011年の東日本大震災においても、TV等の既存メディアからの俯瞰的情報の発信だけでなく、twitter などによって最新のローカル情報（被災地の様子や首都圏の交通状況等）を得られたことは記憶に新しい。さらに今後は、人がモバイル端末等を用いて発信する情報だけでなく、いわゆる M2M (Machine-to-Machine) の広範な普及によって、温度や雨量などのセンシング情報など「機械」から発信される情報も加わり、ネットワーク上の情報はさらに多様化する。事実、これらのトラフィックは今後急速に増大すると予測されている。2010年のモバイル端末のトラフィックは全体の1~2%程度であるが、今後は、固定端末のトラフィックの伸びが30%程度であるのに対して、モバイル端末のそれは90%超であるとされている。また、M2Mトラフィックも2015年には毎月300ペタバイトに達するという予測もある。すなわち、モバイル端末やデバイスからは従前に増して情報が発生する。情報流通ネットワークは、それらの多様な情報から生成された有益なコンテンツも含めて流通させることによって、無限の価値を創造する可能性を秘めている。

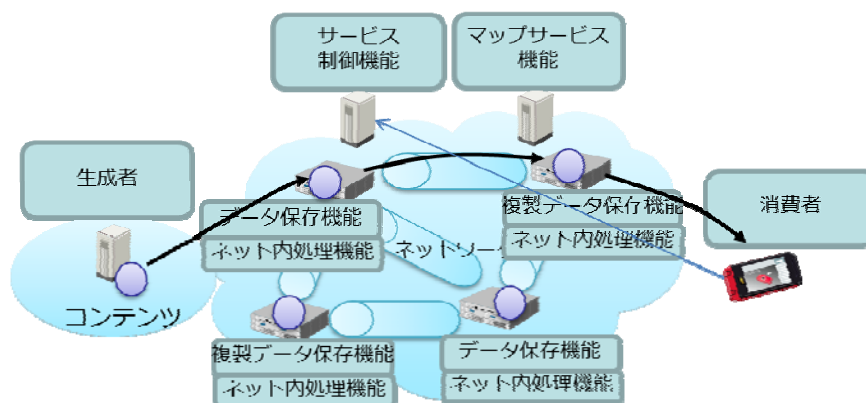
本稿で目指す情報流通ネットワークにおいては、情報をネットワーク上に適切に配置し、適切なサービスを介して情報をユーザに提供することによって、従来に比して短時間でコンテンツを配信するサービスを提供するという時間メリットを有する。もちろん、それだけではない。ユーザとサービスとのインタフェースのありかたを根本的に変え、ユーザが意図的に交換相手を指定することなく必要なコンテンツを得るサービスをネットワーク上で展開することが可能になり、その結果、ユーザ自ら検索サービスを介して直近のコンテンツを探すことが不要になる。また、コンテンツを分散配置し、ユーザの現時点での環境に適したコンテンツ変換処理を施すことによって、サーバボトルネックを回避しつつ、ユーザセントリックなサービスの実現も可能になる。さらに、大量のセンシング情報をコンテンツに合成する処理により、新たな価値を持つコンテンツを提供するサービスも実現できる。一方、インフラ事業者にとっては、コンテンツ配信サービスや M2M サービスなどのサービスプラットフォームも事業対象にできる可能性が生まれ、それと連動したインフラ整備を行うこととなる。これは、最終的な利益享受者であるユーザにとってもメリットの大きい設備増強サイクルを産み出すものとなる。さらに、サービス提供者に対しては、通信回線やストレージなどの設備や資源配置などの運用に係わるコストを大幅に削減できるというコストメリットのあるネットワークを実現することができる。

情報流通ネットワークには、消費電力メリットもある。情報を蓄積するためのストレージは安価になっているとはいえ有限であり、サービス実現には情報の伝送や交換を必要とするのは当然である。問題は、コンテンツ流通を個々のサービス提供者に任せることは、膨大な電力消費に繋がる危険性が大きいという点である。コンテンツ配置・流通をネットワーク側で適切に管理することによって、消費電力を抑制できる可能性は大きい。

本稿では、このような可能性を念頭に、情報のライフサイクルを確立する。以上のように、人類のさらなる知識と知恵の増進を支え、新たな価値を創出する情報ネットワークを構築するために、情報流通を効率化し、情報が持つ価値に着目した新たな情報流通の仕組みの確立が重要である。我々は、2020年の価値流通ネットワークビジネスの創成を目指し、新たなサービスを実現する高付加価値プラットフォームとしての情報流通ネットワークを実現する。そのためには、上述のようにステークホルダの明確化と競争原理の導入は不可欠であり、このような視点に基づいた新しい情報流通の仕組みを支えるネットワークアーキテクチャを確立する。

本稿では、固定・移動を問わずユーザや遍在するデバイスから時々の状況に応じて発信される情報を必要に応じて処理しつつ、ネットワーク上に適切に配置し流通させる、情報流通ネットワーク（以降「ライブ情報流通ネットワーク」）実現のためのビジョンとその設計目標を明確にし、設計原理を提示する。我々の情報流通ネットワークにおいては、将来成長が期待される M2M やコンテンツ配信など新たな価値を生むサービスのためのプラットフォームとインフラの提供を実現すると同時に、これらサービスやネットワークの運用コスト削減を実現する。そのために、効率的なライブ情報へのアクセス、コンテンツ流通と価値を付加するコンテンツ生成に適したネットワーク内処理、簡素な移動制御、効率的な情報流通及びエネルギー利用などを実現するネットワークを設計する。これらは、ITU-T 勧告 Y. 3001 [1] で定義された将来ネットワークの 4 つの目的、具体的にはサービス、データ、環境、社会面経済面への配慮 (Awareness) にも適合した新しいネットワークと成りうるものであり、目標として、ネットワーク事業者あたり 10 億のモバイル端末と 1000 億のセンサ・アクチュエータを収容し、データアクセスに 100 ミリ秒、かつ今の 1000 倍のエネルギー効率化を設定する。また、要素技術として、既存のインターネット技術の拡張ではなく、超大量デバイスからの情報収集、移動端末、大量のコンテンツ管理のための新たな技術についても言及する。さらに、今後のネットワーク設計の指針とするため、情報の発生から情報消費者が受信するまでの情報流通の機能フレームワークについても言及する。現在のインターネットとの比較を示すため、情報検索サービスやコンテンツ配信サービスがネットワーク提供者と独立しているインターネットと、本稿で述べるライブ情報流通ネットワークのフレームワークや機能配置例（図はライブ情報流通ネットワークの機能配置例）を比べ、ライブ情報流通ネットワークの機能性、効率性を述べる。

本稿が、新世代ネットワークにおける情報流通のための新たな指針を与えるものとなれば幸いである。



ライブ情報流通ネットワーク検討参画者

- 原井洋明 (情報通信研究機構)
- 鎌谷修 (NTT 未来ねっと研究所)
- 長谷川輝之 (KDDI 研究所)
- 松原大典 (日立製作所)
- 塩尻浩久 (NEC)
- 村田正幸 (大阪大学・情報通信研究機構)
- 西永望 (情報通信研究機構)
- 宮澤高也 (情報通信研究機構)
- 藤川賢治 (情報通信研究機構)
- 川村龍太郎 (NTT 未来ねっと研究所)

目次

1.	はじめに	5
1.1	情報の価値	5
1.2	ファクトデータと分析	6
2.	社会的経済的効果	7
3.	ビジョン及びネットワーク設計原理	9
4.	設計目標	11
5.	要素技術	13
6.	アーキテクチャフレームワーク	19
6.1	ライブ情報流通ネットワークのアーキテクチャフレームワーク	19
6.2	既存ネットワーク・情報流通サービスとのフレームワーク比較	25
6.3	各機能のネットワーク内展開例	28
7	ネットワーク設備設計具体例	29
7.1	移動端末の場合の数値計算	30
7.2	固定端末の場合の数値計算（ダウンロードのみ）	37
8	海外の動向	42
9	まとめ	44
	付録	45
	文献	46

図目次

図 1.	情報量単価とネットワークサービスにおけるトラフィック量の関係	5
図 2.	モバイルトラフィックのトレンドとその内訳（[5]のデータより作成）	6
図 3.	社会的経済的効果を生むライブ情報流通ネットワーク	8
図 4.	ビジョンとネットワーク設計原理	9
図 5.	設計目標、および、設計原理との関係	12
図 6.	要素技術およびその設計目標との関係	13
図 7.	データ識別子を用いたルーティング	13
図 8.	セマンティクスから ID への変換とコンテンツアクセスのためのマッピング	15
図 9.	データ配置とキャッシング	16
図 10.	AT&T によるモバイルデータの予測	17
図 11.	アーキテクチャフレームワーク（全体像）	20
図 12.	データアップロード時の信号とデータフロー	21
図 13.	データダウンロード時の信号とデータフロー	23
図 14.	データ分配時の信号およびデータ転送のフレームワーク	23
図 15.	情報および機器登録時の信号転送のフレームワーク	24
図 16.	アクチュエータ駆動時の信号および情報転送のフレームワーク	25
図 17.	インターネットのフレームワーク	26
図 18.	CDN のフレームワーク	27
図 19.	情報検索サービスや CDN とネットワーク提供者とが独立するインターネット	28
図 20.	ライブ情報流通ネットワーク	28
図 21.	見積りに用いたライブ情報流通ネットワークのトポロジ	30
図 22.	移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（全体）	31
図 23.	移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（ヒット別）	31
図 24.	コンテンツに対するアクセス数	36
図 25.	エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量（移動端末の場合）	36
図 26.	固定端末（ダウンロード）の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー	37
図 27.	エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量（固定端末の場合）	41

表目次

表 1.	トラフィック総量の見積もり値	32
表 2.	各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアのトラフィック総量の見積もり	33
表 3.	消費電力量の見積もり	34
表 4.	各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力量の見積もり	35
表 5.	トラフィック総量の見積もり	38
表 6.	各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアのトラフィック総量の見積もり	39
表 7.	消費電力総量の見積もり	39
表 8.	各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力量の見積もり	40

1. はじめに

1.1 情報の価値

コンテンツ（消費者であるユーザにとって価値ある情報）の流通・配信サービス技術やコンテンツ獲得のための情報検索サービス技術はますます高度化し、我々は短い時間で多くの情報を得られるようになっていく。現在、インターネットには、映像、音楽、科学データなど更新頻度の少ないものについてはすでに大量のコンテンツが流通し、技術の発展の結果、高度化された配信サービスにおいては大きなサイズのコンテンツであってもさほどストレスなくすばやくコンテンツを取得できるようになっている。情報検索サービスについても、我々が情報検索サーバにアクセスすると、一般的な嗜好あるいはそのサービスにおいて採用されているポリシーに従う順序に基づいて、そのコンテンツの位置情報のリストを得ることができる。現状ではそのために、検索サービス提供者がクロールによって Web サーバ上の膨大な数のコンテンツの位置情報からなるデータベースを構築している。これらのサービスはさらに発展してクラウドサービスとして高度化されつつある。電子メールやファイルなどの個人的情報についてもデータセンタに保存されつつある。すなわち、電子メールやファイル転送などのアプリケーションを介して情報へのアクセスを提供すること自体がサービスとなり、クラウドサービスを介したユーザ間の情報交換も実現されている。

さまざまなネットワークサービスを介して情報が配信されることで、情報はユーザにとっての価値を生む。しかし、同等の価値の情報転送に対して費やされるリソースは一定ではない。例えば[2] [3]によると、携帯パケットサービス（携帯メール・データ等）、携帯電話の音声通話、加入者電話、固定インターネット等では、1バイトあたりの情報量単価（ビットで表すトラフィック量をユーザが支払う料金で除した値）は大きく異なっていることが示されている。この例では、ユーザがサービス（情報転送）に支払う料金を情報価値とみなしている。携帯サービスのデータ利用と固定インターネットとを比較すると、その情報量単価は約4桁の違いがある（図1）。また、1契約者が1ヶ月に利用する総トラフィック量で比較すると、約4桁の違いがある。メールのみと他のデータ転送を含めたサービスの単純な比較は難しいが、携帯サービスのメール利用と固定インターネット利用を比較すると、その情報量単価は約8桁、総トラフィック量で約7桁の違いがある。ネットワークサービス提供者の視点に基づく、情報量単価の低い固定インターネットを流れる情報と、情報量単価の高い携帯サービスに流れる情報の双方を配慮した、情報の配置・流通を適切に管理したネットワークを構成すること、あるいは、すでに情報量単価が大きなネットワークサービスにおいてはより安定に情報を流通させること、などを考えていく必要がある。

一方、情報の転送や保持にかかるネットワーク分野の消費電力は2005年にはすでに500億kWhを超えている[4]。地球の有限エネルギーを用いる限り、電力消費量に制約があることを考慮したネットワーク設計が必要となる。ネットワーク機器の省電力化は大きな課題であり、現在、さまざまな取組みがなされているところであるが、ここでの問題はコンテンツ流通における消費電力の利用効率改善をどのように進めるかという点である。上述のように情報配置およびその流通に必要なリソースをネットワーク側で適切に管理することによって電力利用効率を大幅に改善できる可能性は大きい。エネルギー効率化のためにも、消費電力制約を考慮しつつ、流通する情報の価値を最大化することが可能な情報流通機構の構築が必須である。

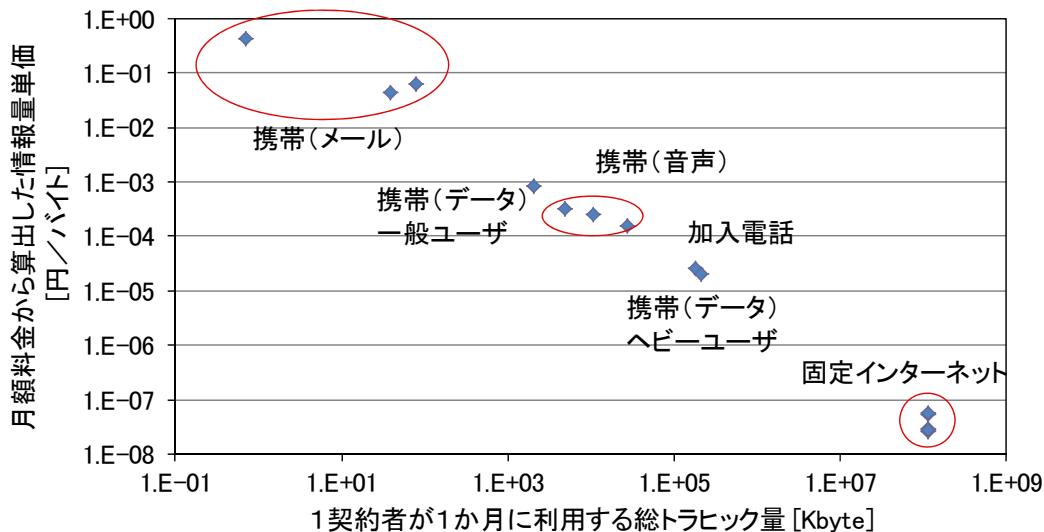


図1. 情報量単価とネットワークサービスにおけるトラフィック量の関係

従来型のコンテンツ配信システムや検索エンジンでは、タイムリーで効率的な上りの情報転送をすることは実現しておらず、また、下りの情報転送についても、最新の情報を得るまでの時間は最適化されていない。さらに、今後は、次節(1.2)で述べるように、ライブデータ(データとはセンサによるセンシング情報や、消費者の考える価値と無関係に生成者が発信した情報など、解析を要したり単体では消費者にとって十分に価値があると言えなかつたりするもの)を発する移動端末からのデータ量が増え、また、同じくライブデータを発するセンサも数が大幅に増えていく。当該分野の今後の急速な発展により、それらのデバイスの、ネットワークへの接続・離脱もより頻繁となることは容易に想像される。デバイスからのデータの発信を上りのデータ転送、消費者の受信に関わる情報の流れを下りのデータ転送とすると、移動端末やM2M通信による上りのデータは今後急速に増大し、時々刻々と変動するものとなる。今後、いかに情報として価値を持たせていくか、いかに情報を効果的に流通させるか、などユーザ・サービス双方のニーズにマッチした情報流通ネットワークの構築が本稿の目的である。

1.2 ファクトデータと分析

本節では今後急速に成長が見込まれるM2M通信を対象に、データを生成する機構(たとえば、カメラ等のセンサデバイス)が、データを生成しながら移動し、その移動の過程において複数のネットワークドメインをまたがりながら通信を行う場合の、2015年におけるトラフィック量の見積もりを示す。なお、[5]によれば、今後の大容量M2Mトラフィックの発生するサービスとして、ビジネスと消費者のセキュリティと監視、ヘルスケア、配車および在庫管理、テレマチックが挙げられている。

図2に、2015年におけるモバイルデータのトラフィック予測を示す[5]。予測では、2015年におけるモバイルトラフィックの総量は、毎月約7エクサバイトとなる。この内M2Mデバイスが生成するトラフィック量は全体の4.7%であり、毎月約300ペタバイトに達する。2010年の全モバイルデータの総量は毎月237ペタバイトとされており、それを上回る値である。[6]によれば、2015年におけるIPトラフィックの総量は毎月80.9エクサバイトであり、モバイルトラフィックと固定トラフィック(非モバイルトラフィック:総量からモバイルを除いたもの)の比率は1:10となっている。したがって単純に予測しても、M2Mトラフィック量毎月300ペタバイトの内、情報源が移動するトラフィック量は毎月約30ペタバイトとなる。

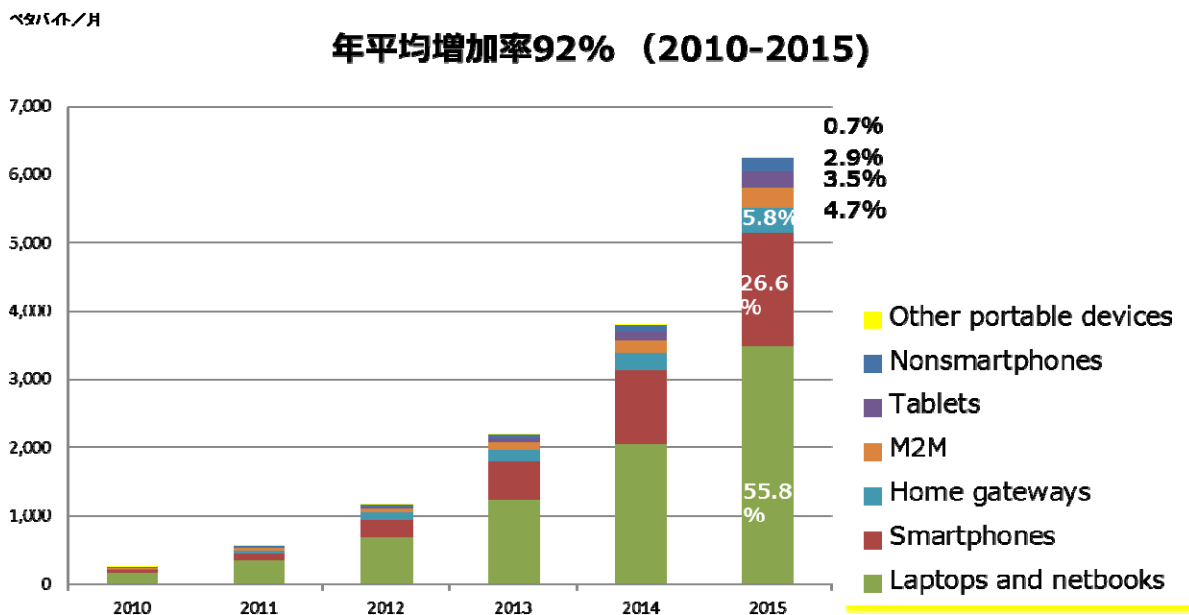


図 2. モバイルトラフィックのトレンドとその内訳 ([5]のデータより作成)

2. 社会的経済的効果

本章では、社会的経済的側面からみたライブ情報流通ネットワークアーキテクチャの特徴とアーキテクチャ確立による効果を述べる。現在のインターネットとそこに展開される情報流通サービスとは構造が異なるライブ情報流通ネットワークは、新たなステークホルダを生み、新規サービスのスモールスタートを許容するビジネスモデルを形成し新たなビジネス創成に繋がる。その社会的経済的効果を生む背景には、ネットワーク事業者とユーザ双方にメリットがある高付加価値ネットワークプラットフォームが創成されている。

以下に、上記3つの社会的経済的特長と効果の概要(図3)を述べる。これらはネットワークの設計目標(4章)や要素技術(5章)を考察する上でも参照されるものである。

• ステークホルダの明確化と競争原理の導入

情報流通の定性的・定量的特性を分析し、適材適所に必要量のネットワーク資源やサービス資源を配置する。それらを最適に動作させる機器のハードウェア仕様やネットワーク管理機構を確立することで、ステークホルダを明確にする。あわせて、新規加入も可能な競争原理を導入する。

以下に、具体的な特性例を列挙する。

1. 情報生成者に関する特性：誰が(who)、いつ(when)、どこで(when)、どの位(how much)の情報を発生させるか。
2. 情報消費者に関する特性：誰が(who)、いつ(when)、どこで(when)、どの情報(what/which)をどの位(how much)取得するか。

既存のコンテンツ流通サービスを例にとると、1のwhoはコンテンツ事業者であり、2はコンテンツ事業者からコンテンツを購入するユーザとなる。M2Mのようなセンサデータの流通であれば、1のwhoはセンサの所有者であり、2はセンサ情報の利用者となる。これら情報流通の特性が明確になれば、情報流通のための各種機能を提供するステークホルダは自ら明確となり、彼らが提供したり利用したりするネットワーク資源とサービス資源の適切な配置も検討できる。既存コンテンツ流通の例では、コンテンツ事業者、ユーザ、ならびに、両者間のマッチングを行う検索提供者、両者間のデータ転送を提供するネットワーク提供者、情報流通の対価を分配する分配者が最低限必要となる。

ライブ情報流通ネットワークの場合、1のwhoはセンサやモバイル機器の所有者であり、2はコンテンツの利用者となる。その中間のサービス合成機能やその情報分配機能を行うために登場する仲介者の役割は今に増してネットワークの質向上に大きな影響を与える。また、新規加入も可能な競争原理を導入するために、機能間の相互運用性を向上させ、ステークホルダによる各機能の提供を単純化する。

• 2020年の価値流通ネットワークビジネス創成

2020年の実現を目指した新世代ネットワークには複数のビジネスモデルがあるべきである。2015年の早期プロトタイプ実現と2020年のネットワークビジネス創成を図る。具体的には、先ず、コンテンツ流通を例に早期プロトタイプを実現し、今までのネットワークで行われている既存のコンテンツ流通に対する優位性を明らかにする。次に2020年の情報流通を想定し、これに合致したビジネスモデルを検討する。

既存のコンテンツ流通(例えばGoogleでコンテンツを検索しAkamaiからコンテンツをダウンロードする)では、流通するコンテンツ(映像、音楽、科学データ等)は静的であり一度配置すると殆ど更新がない。一方、今後は時々刻々と動的に変化するデータとそこから動的に合成されるコンテンツが増大すると考えられる。例えば、変化するデータとは、移動する人や車から頻繁に発信されるライブ情報や、センサから時々刻々と発信されるデータ(センサデータ)や、(定点を通過する)異なるホストが次々と発信する定点観測データ等である。また、既存のコンテンツ流通は、例えば日本国内といった流通範囲が比較的広いコンテンツを対象としているが、今後は地域で発生したデータやそれを元に合成されたコンテンツを同じ地域で消費するなど、より流通範囲の狭い地産地消型の情報の流通も対象とする。さらには2020年の情報流通やこれに基づく新サービスを意識したネットワーク設計により、既存サービスが市場を席巻してしまった場合であっても有望な新サービスのスモールスタートと健全な発展を促進可能なビジネスモデルを形成する。

• 新たなサービスを実現する、高付加価値プラットフォームの創成

従来の土管型のトランスポートだけでなくリアルタイムに変動する情報を流通させるためのプラットフォームを構築し、高付加価値を生む土壌を創成する。すなわち、情報を効率的に管理しコンテンツのクローリングを不要とすることで、帯域や消費電力、運用等においてネットワーク事業者にメリットがあり、サービス応答時間やユーザインタフェイス等においてユーザメリットがあるネットワークアーキテクチャを確立す

る。具体的には、端末やデバイスから時々刻々と送出され、なかには、移動通信に伴って情報を発信する位置や発信源が変化する情報を非同期に流通させ、ネットワーク内部でコンテンツを成し、ユーザに配信するネットワーク（サービスとインフラ）を構築する。

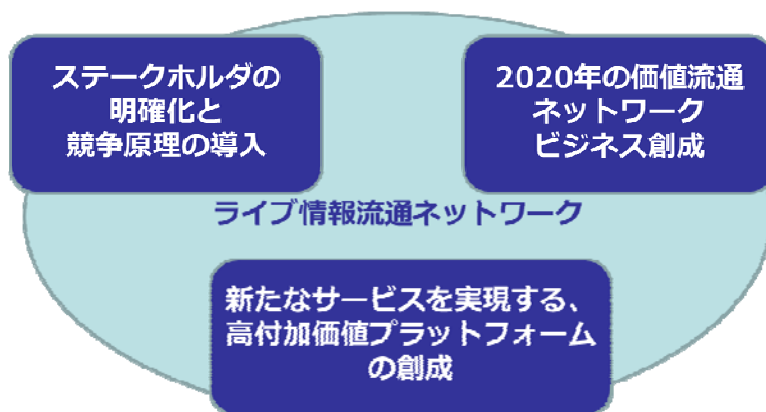


図 3. 社会的経済的効果を生むライブ情報流通ネットワーク

3. ビジョン及びネットワーク設計原理

我々が実現しようとしているライブ情報流通ネットワークでは、移動体などさまざまな発信源から生成され時々刻々と送出されるデータを効率的に流通することで新たな価値の創造を目指す。これをライブ情報流通ネットワークのビジョンに掲げる。本ネットワークによって、将来成長が期待される M2M やコンテンツ配信サービスなどにとって新たな価値を生むプラットフォームとインフラを実現すると同時に、ネットワーク自体や提供されるサービスの運用コスト削減を実現する。

ビジョンを具現化するにあたり根幹を成すライブ情報流通ネットワーク達成するための5つのネットワーク設計原理を以下に示す。図 4 にその概略を示す。

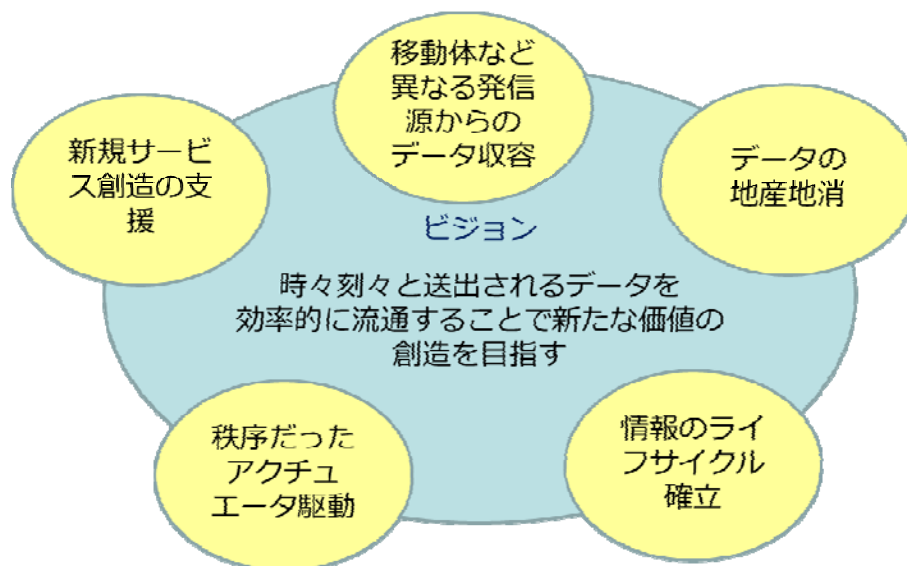


図 4. ビジョンとネットワーク設計原理

- 移動体など異なる発信源から生成されるデータの円滑な収容
M2M のデータを生成する発信源は実世界のあらゆる場所に遍在し、各々のタイミングでデータを生成する。これらの発信源は、人や車両などの移動体に装着される等、先述のように1割程度の情報の発信源が移動体からとなる。また、データの内容は実世界の変化などに応じて頻繁かつ不定期に変化する。このような環境では、どのようなデータがどの発信源からいつ生成されるかを予測することは困難であり、所望のデータを取得するためにデータの発信源を特定し、それに有効なアクセス手段を見つけ出す機能をネットワーク自身が提供することが必要である。ライブ情報流通ネットワークは、ネットワーク上の遍く場所にて発生し時々刻々と送出される大量のデータを円滑に収容し、ユーザやサービスからの容易なアクセスを実現する。
- データの地産地消
発信源から生成されるデータには、近隣の場所からアクセスされることが多いという意味で、地域性を有するデータも多く含まれる。そのため、全てのデータをデータセンタなどのネットワークの一箇所に転送し蓄積する形態は、トラフィック量や通信遅延という観点からは効率的ではない。ライブ情報流通ネットワークは、生成されたデータをネットワークのアクセスポイントやエッジノードに配置することによってデータの「地産地消」を実現する情報流通を確立し、情報流通によるネットワーク輻輳やデータ転送遅延の発生を防ぐ。これは、ネットワーク全体の省電力化という観点からも効果が大きい。
- 情報のライフサイクルの確立
M2M では大量のデータが常時生成される一方で、その多くは一定時間を経ると利用価値が低下し、最終的には不要となるものも多い。利用価値が変化することはコンテンツも同様である。一方、ユーザやサービスからのアクセスを実現するために必要なデータの蓄積リソースや通信リソースは有限である。そのため、トータルコストを考慮しながら、現在、多く流通する情報の冗長性を確保し、所望の情報をすばやく伝達する機構が重要である。これは、単独のコンテンツ流通サービスではその実現は困難であったものである。ライブ

情報流通ネットワークでは、価値のある情報をより広範囲に遍在させ、そうでないものは点にあるいは消滅させることで、情報の効率的なライフサイクルに基づく情報流通を確立する。

- 秩序だったアクチュエータ駆動

さまざまな発信源から生成されネットワークに收容されたデータは、ユーザや特定のサービスによって直接利用されるだけでなく、多様なアクチュエータを的確かつ協調的に駆動させるシナリオ作りのためにも利用される。すなわち、データを基に作られたサービスシナリオに記載されている秩序にしたがってアクチュエータを駆動させ、最終的には個々のデータが豊かな社会形成や産業の高度化に貢献する。ライブ情報流通ネットワークにおいては、効果的な情報流通により、收容したデータをネットワーク内で処理し、そのデータに基づいてアクチュエータを秩序だてて駆動するためのサポート機能を実現する。

- 新規サービス創造の支援

実世界とのインタラクションを利活用する新たなサービスの創出を促すには、これら新サービスが市場の需要に合わせて成長するのを支援すると同時に、既存サービスが市場を席卷してしまった場合であっても有望な新サービスの健全な発展を支えることも重要である。例えば、クラウド等の既存サービスを利用したプラットフォームを用いたコンテンツ流通ビジネスの小規模スタートをサポートすること、複数サービスによるセンサやアクチュエータの共有利用などが挙げられよう。情報流通の確立により、ライブ情報流通ネットワークは、このような新たなサービス創造の支援を実現する。

以上のビジョンおよびネットワーク設計原理に基づいて構築されるライブ情報流通ネットワークにおいては、既存のインターネットサービスにおける基本サービスもプラットフォームとして吸収する。例えば、クローリング不要で情報量単価、消費エネルギー、サービス応答時間等においてメリットがあるネットワークやサービスを提示したり、必要設備量の具体例を提示したりする。本稿では、ネットワーク構築のための基礎となるネットワークアーキテクチャの機能フレームワークを6章で述べ、実現可能性の一環として設備量の具体例を7章において述べる。

4. 設計目標

本章では、ライブ情報流通ネットワーク設計の新たな観点と設計目標を、数値目標と共に示す。設計目標は、2章の社会的経済的側面を考慮しながら、3章に記載されたビジョンとネットワーク設計原理に基づいて実現するものである。図5には設計目標とその設計原理との関係を示す。

(1) センサ情報などライブ情報への効率的アクセス

情報の発信源は遍在する。そのため、情報を必要とするユーザにとって、発信源の場所やデバイスの特定には多くの労力を有する。位置や名前がわからないだけでなく、ネットワークアクセスが途絶している可能性や双方向の通信手段を持たない可能性もある。常時情報を得るため、デバイスが発信した情報をネットワークアクセスできる場所に保存し、ユーザがそこからデータを速やかに取得できるネットワークを構成する必要がある。

情報の発信源としてセンサデバイスや移動体端末を主とした情報流通形態を想定し、それらが取得した情報を速やかに保持可能な構成とする。そのため、情報の最終保存場所に移動する前に、ネットワーク内を含めた一時的な情報保存場所にデータを一旦保持することを想定する。また、移動体端末が移動によってネットワークへのエンリポイントが変化した場合にも、適切な情報の保持が可能となるようにする。

移動体端末が情報を取得した時点においては、ネットワークへのエンリポイント近辺の移動体端末によるデータ取得が多くなることが想定される。さらに、他の移動体端末からの情報取得要求に応じて、情報の保存場所を動的に最適配置することによって、移動体端末からの情報アクセスの効率化が可能となるようにする。移動体端末からの情報へのアクセス時間は、100ミリ秒以下となるように設計する。

移動体端末から取得した情報については、適切な意味づけ、関連付けを行い、情報利用時の検索効率を向上できるようにする。

移動体端末、デバイスの総数については、ネットワークサービス事業者あたり10億のモバイル端末や1000億のセンサ・アクチュエータデバイスの収容が可能となるように設計する。災害時やイベント利用など、急激なトラヒック需要が見込まれる場合を想定した、適切なトラヒック量制御が可能な設計とする。

(2) 情報流通及びコンテンツ作成に適したネットワーク内処理

情報流通を効率化するために、ネットワーク内に情報を保持するキャッシュ機能、ストレージ機能を配置する。また、遍在する情報から価値を作るため、ネットワーク内に種々の情報処理機能を配置し、複数の新しい情報を合成することが可能なプラットフォームを、ネットワーク内の資源により構成する。このプラットフォームにより、例えば、ユーザの通信環境にあわせたコンテンツ変換や、ユーザの嗜好にあわせたコンテンツ合成をタイムリーに施すことができる。

(3) 移動通信制御の簡素化

モバイル端末、低機能・低性能デバイスからのデータを収容するに適したネットワークを構成する。対象とする端末・デバイスの通信環境や処理能力が十分あることは期待すべきでなく、端末・デバイス側にとって制御機構が流通のボトルネックにならない簡素な移動通信制御をするネットワークを構成する。移動する対象は端末のみと限らず、送出されたデータが保存されているストレージやキャッシュ、さらには、ネットワークの混雑や攻撃を避けて情報流通サービス自体が移動するなど多岐にわたる。そこで、ネットワーク管理側にとって、10億のモバイル端末やストレージの情報、サービスの移動時の登録とその管理を円滑に行なえるよう、制御や認証を簡素化するとともに、位置やサービスなどの単位毎に管理用識別子の独立性を保つようにする。

(4) 情報流通及びエネルギー利用の効率化

情報が収容される場所を中心としたネットワークを構成するのではなく、情報を中心とした機構によって情報配信を促進するネットワークを構成する。その際、ユーザが情報を取得するまでの時間短縮や、設備量と消費エネルギー削減のため、資源配置や情報伝達の工夫により実効帯域やエネルギー等の利用資源平滑化、利用効率の向上を図る。例えば、情報流通経路の分散による最大帯域の抑制や、情報のストレージへの一時蓄積によるピークトラヒック抑制などができよう。データやコンテンツの流通に着目したネットワーク設計により情報転送の効率化を進め、不要な情報転送の削減やトラヒックの平滑化が可能な構成とする。エネルギー利用効率の改善としては、現在の1000倍を目標とする。

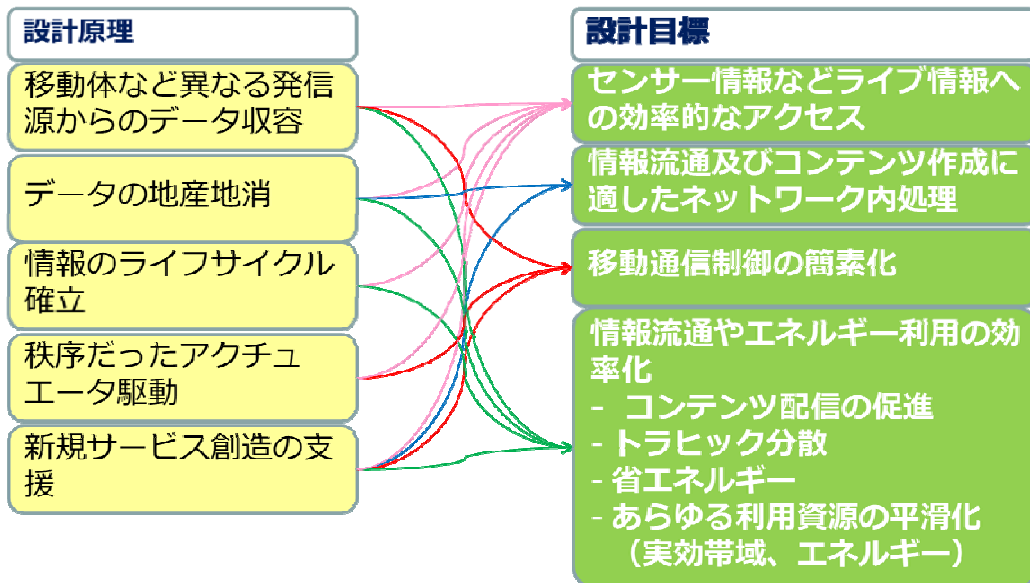


図 5. 設計目標、および、設計原理との関係

5. 要素技術

本章では 4 章で述べた設計目標を実現するために必要と位置付ける要素技術について記述する（図 6）。本稿では技術の詳細には触れず、方向性を示す概要記述に留める。

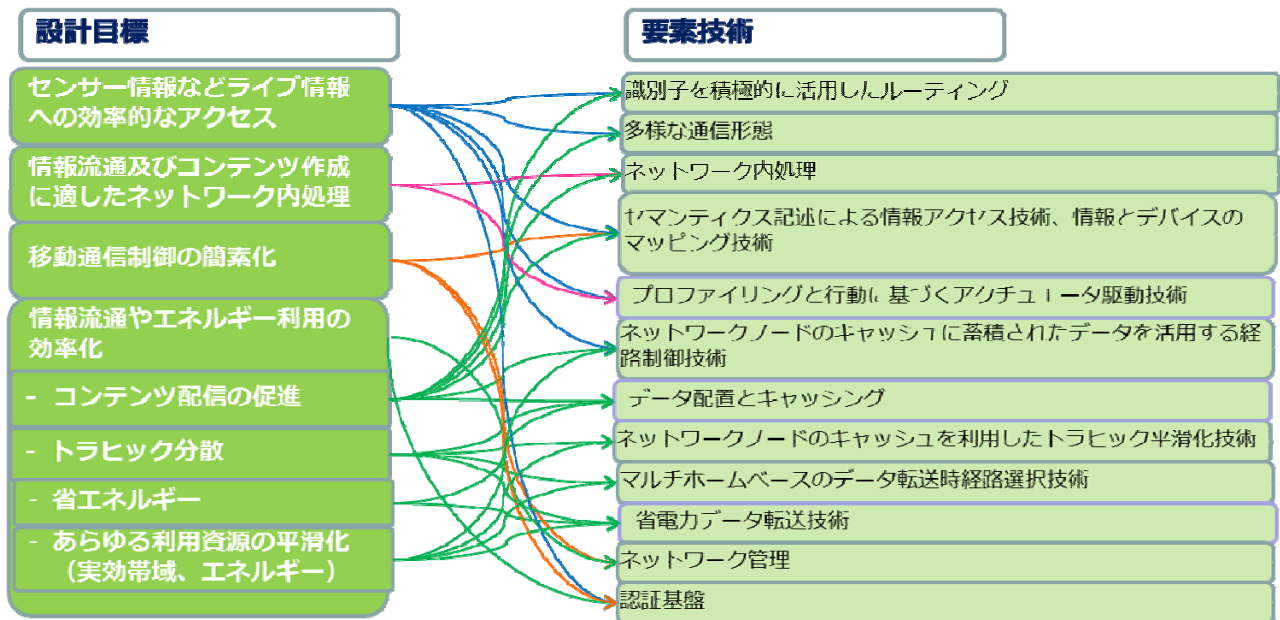


図 6. 要素技術およびその設計目標との関係

- 識別子を積極的に活用したルーティング**
 実世界に遍在した移動体を含む発信源が不規則にデータを生成する場合、データの位置を把握することは困難となる。時々刻々と送出されるデータにアクセスするには、データをアクセスする端末がデータの位置に依存したアドレスを指定するのではなく、所望のデータの識別子 (ID)、または、データを保持する端末またはノードの識別子を指定し、ネットワークはその識別子を用いてルーティングを行う（図 7）。これにより、データをアクセスする端末はデータの移動や通信相手のアドレスの変更などを意識することなく、容易にデータにアクセスできる。このような特徴は、高度な機能を持たない M2M 端末には特に有効となる。例えば [7]～[13] などで提案されている技術は識別子を用いたルーティング適用への可能性を持つものである。

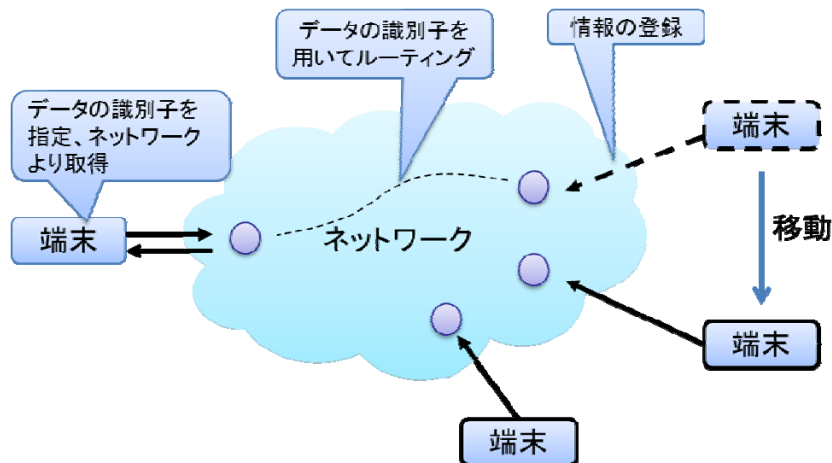


図 7. データ識別子を用いたルーティング

また現在のネットワークでは、上記以外に仮想サーバの移動、サーバの負荷分散、ネットワークの混雑や機器稼働状態の変化などに応じて動的にルーティングを変更する必要がある。このような場合でも、識別子を積極的に活用することでデータ伝送の途中で転送先を柔軟に変更することが可能となり、ネットワークの最適化が容易となり、運用コストが削減できる。なお、ネットワーク内で用いられる識別子については、6章で詳述する。

- **多様な通信形態**

従来のネットワークでは、端末間の1対1通信（ユニキャスト）が主であった。M2Mやコンテンツ配信では、ブロードキャストやマルチキャスト、publish/subscribe（出版・購読）型通信[14]、クエリ型通信の多用が予想される。これらは多数ユーザ間のデータ共有や非同期通信を可能とする。例えば、publish/subscribe型通信では、ある特定のデータにsubscribeしておけばデータの更新時にデータが直接配信されるため、不定期な更新が行われるデータの共有に適している。これらの通信を実現するには、ネットワーク内の通信ノードに高度な機能が必要となる。例えばpublish/subscribeの場合は、従来のルーティングとデータ転送だけでなく、subscriberの管理、配信経路の形成、データの複製などが必要となる。

- **ネットワーク内処理**

実世界とのインタラクションを利活用するサービスは、多様で多量なセンシングデータを分析することで、状況や嗜好にきめ細かく応じた高品質なユーザ経験（Quality of Experience）を実現し、新しい市場を創出する。現在のネットワークでは、ネットワーク内にあるノードはデータ転送のみを行い、センシングデータの加工はアプリケーション固有の処理として、エンドホスト、より具体的にはデータセンタ内のサーバ等で実行される。将来のネットワークでは端末やサービスの多様化や、実世界の変化をよりリアルタイムに把握する要求の高まることから、ネットワーク上に遍在するデータを、ネットワーク内のノードまたはそれに隣接するサーバ装置にて加工するようなネットワーク内処理機能が重要となる。ネットワーク内処理は、データの一次加工によるアプリケーション処理負荷の軽減や、地産地消型のサービスにおけるデータ転送の効率化や応答時間の短縮に効果が期待される。

ネットワーク内処理の例として、ルールマッチングや統計処理を挙げることができる。ルールマッチングはアプリケーションが必要なデータやイベントの検出をリアルタイムに行う技術であり、指定するルールがステートレスであるものとステートフルなものに分類できる。ステートレスなルールとは、閾値を超えたデータの検出や、指定された値の検出、それらの組み合わせであり、分散ハッシュテーブルなどの技術を利用して実現される。一方、ステートフルなルールは、時間的に継起する事象の記述を可能としたより複雑なルールであり、一般的に、Complex Event Processing（CEP）と呼ばれる技術により、ルールの記述、分散処理のためのアーキテクチャが研究されている。統計処理は、大量に生成されるセンシングデータの統計的な処理や特徴点の検出をリアルタイムに行う技術である。これらの機能により、多量に生成されるセンシングデータの傾向や特徴と言った、アプリケーションのより高次な情報処理に有効なデータをネットワーク内の処理で生成することができる。

- **セマンティクス記述による情報アクセス技術、情報とデバイスのマッピング技術**

オープンなIoT（Internet of Things: モノのインターネット）サービス市場の創出と、より高度なサービスの実現に向けて、複数の異なるセンサやアクチュエータを利用した高度で柔軟なIoTサービスを容易に提供するためには、抽象化されたインタフェイスを介して実世界の状況取得や操作を可能とするアプリケーション実行環境の実現が重要である。このため、実世界の状況や操作を直接ビジネスロジックに、すなわち、セマンティクスで表現された事象（モノやコト）を、情報（データID・コンテンツID）に変換する機能（Interpretation）が必要である。

さらに、データID・コンテンツIDで識別される情報から、それを生成するデバイスや情報を格納しているネットワークノードに付加されるノードIDをマッピングする機能が必要であり、その設計要件としてモビリティを考慮する必要がある。既存のネットワークでは、モビリティの形態として、端末の地理的、あるいは異なる無線メディア間の移動に対して継続的な通信を実現するハンドオーバと、断続的に異なる場所からネットワークへのアクセスを可能とするノマディズムが、モバイルアクセス網やLAN技術、Mobile IPなどによって実現されている。一方、IoT環境では、例えば、定点のデータを異なる移動体がセンシングする場合のように、同一の情報を生成するデバイスが切り替わるケースや、複製や削除を含んだ網内での情報のライフサイクルも考慮する必要がある。このため、新しいモビリティのモデルを策定し、近年、導入が検討されているノードID・ロケーションID分離技術も取り込んだアーキテクチャ設計が必要である（例えば[15]）。

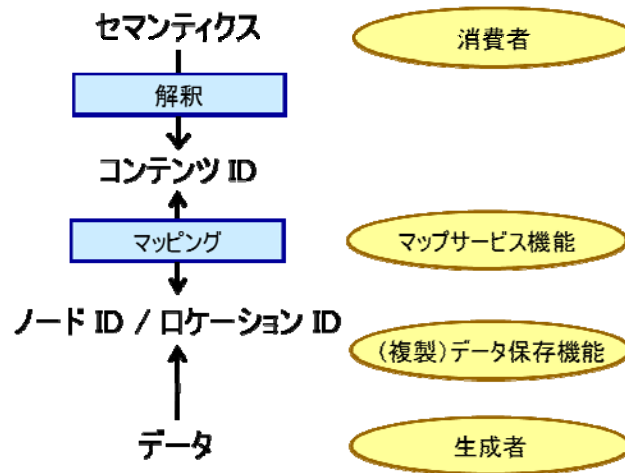


図 8. セマンティクスから ID への変換とコンテンツアクセスのためのマッピング

- プロファイリングと行動に基づくアクチュエータ駆動技術

将来の M2M 通信においては、ネットワークあるいはネットワーク上のサービスが、大量のセンサデバイスから時々刻々と生成し送出されるデータを適切に処理し、アクチュエータに命令を出すことで人々の安全で豊かな暮らしを支えることが期待される。たとえば、地域の交通量情報を基にした道路信号機制御や空気汚染対策、温度・湿度・雨量情報を基にした灌漑、雪害対策等により暮らしを支えることができよう。そのためには、アクチュエータに対してすばやい命令を出すためのプロファイリング、行動シナリオをサービス制御機能に持たせ、必要な状況になると直ちにネット内処理機能やデータ保存機能、複製データ保存機能等に命令を出せる技術が必要である。多数のアクチュエータを同期することで処理性能が上がる場合には、その同期のための行動シナリオ作成が大切である。
- ネットワークノードのキャッシュに蓄積されたデータを活用する経路制御技術

ネットワーク内を流通するコンテンツを効率的に探索し転送する観点から、下記の要素技術を利用したネットワークノードのキャッシュに蓄積されたデータを活用する経路制御設計を検討する。

 - 情報蓄積型高信頼経路制御技術（例えば[16]）：情報を転送する消費者、データ保存機能、複製データ保存機能への到達性が無かったり、途中経路が混雑したりする場合に、ネットワークノードや複製データ保存機能で情報をキャッシュする。目的地への到達可能性を経路履歴に基づいて確率で数値化し、確率の大きいネットワークノードへ情報を転送するといった経路制御が必要になる。
 - ネットワーク内コンテンツキャッシュ作成・誘導技術（例えば[17]）：消費者がコンテンツをダウンロードする際に、経路上のルータにコンテンツ ID 等コンテンツにリンクした足跡情報を残し、足跡が大きくなるとキャッシュを設けたり、足跡にヒットしたコンテンツ要求を、そのキャッシュに誘導したりする処理を行う。
 - 情報志向経路制御技術（例えば[7][8][9]）：今のインターネットでは消費者が検索エンジンの助けを借りてロケーション ID を取得してコンテンツを取得している。この検索エンジンを不要としネットワーク内で解決するために、ネットワーク内に複製されたデータやコンテンツに対してデータ ID・コンテンツ ID を与え、それをを用いた経路制御を行う。そのために、例えば、データ ID・コンテンツ ID そのものによって経路制御をしたり、データ ID・コンテンツ ID とノードキャッシュのロケーション ID のマッピング情報を取得できるサービス制御機能へコンテンツ配信要求をするとなノード内キャッシュからコンテンツを取得したりすることが可能な要素技術が必要となる。
- データ配置とキャッシング

ネットワーク設計における、コンテンツデータの配備に際しては、トラフィック量算出、消費電力算出の観点から、(i)データの配備フェーズ、(ii)データの取得フェーズ、の双方のフェーズを考慮した設計とする。

 - データの配備フェーズ

情報が生成され、特定のコンテンツサーバに保存された後、ネットワーク内のキャッシュ機能、ストレージ機能にその情報が配備されるまでのフェーズ。

(i) データの取得フェーズ

ネットワーク内のキャッシュ機能、ストレージ機能にその情報の配備が完了し、各端末から情報へのアクセスが可能となるフェーズ。

ネットワーク内でのキャッシュ機能、ストレージ機能の配置においては、トラフィック量とコンテンツ配備量の推計を行い、各機能配置のコスト面も考慮した最適設計を行うものとする。キャッシュ機能（又はストレージ機能）の配置については、下記の2つの形態を想定する（図9）。

(a) ネットワーク装置のキャッシュ機能

ネットワーク装置内にキャッシュ機能を配備する形態を想定する。この場合、キャッシュデータへの高速アクセスが可能であり、低消費電力化を図ることが可能となる。一方で、キャッシュデータの容量に制約があるため、コンテンツ流通量の推計により、適切なネットワーク装置内に、キャッシュ機能容量を考慮した配置を行うものとする。

(b) ネットワーク装置に隣接配置されたキャッシュ機能

ネットワーク装置に隣接配置されたキャッシュ機能の配備形態を想定する。この場合、汎用のストレージ装置を選定することが可能であり、比較的大量のキャッシュ容量を、低コストで配置することが可能となる。一方で、低消費電力化の観点から、コンテンツ流通量の推計により、低消費電力化対策が実施されたストレージ装置を用いてキャッシュ容量を考慮した配置を行うものとする。

(a) ネットワーク装置のキャッシュ機能

(b) ネットワーク装置に隣接配置されたキャッシュ機能

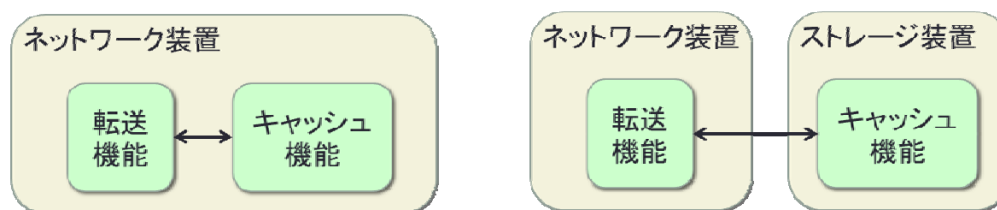


図9. データ配置とキャッシング

- ネットワークノードのキャッシュを利用したトラフィック平滑化技術
現在のネットワークでは、たとえば、Webサーバやコンテンツサーバからのコンテンツ配信は、クライアントであるユーザからの配信要求を契機に始まる。コンテンツの配信経路に他のトラフィックが大量に流通していれば、ボトルネックとなる回線が生じ、そのデータ通過量に律速してデータの通信速度（スループット）が小さくなる。スループットの低下を防ぐための一つの方策はボトルネックとなる回線の容量を増やすことである。しかし、回線容量を増やせば、トラフィックピーク時の対応は可能であるが、高速信号送受信や、高速でのパケットの宛先検索・交換処理に起因して消費電力が増える結果となる。また、トラフィックの非ピーク時にも同じだけの回線速度を提供することから回線費用も消費電力も高いままとなり、ネットワーク運用コストの増加が避けられない。

そこで、ネットワークのルータ内やルータ付近に配信するデータを一時蓄積する目的で、キャッシュ（複製データ保存機能）を設ける。ボトルネックリンクがあれば、経路途中の手前でキャッシュにデータを蓄積し、リンクの負荷が下がったときに改めてデータ転送を実施する。あるいは、コンテンツを複数のキャッシュに配信しておき、ユーザから該当サーバに対してデータ転送要求があると、そのサーバがもっとも混雑を起こさないことが予測されるキャッシュに対してキャッシュデータ配信を指示する。これらキャッシュの効果的配置と効率的なキャッシュデータ利用技術により、ピーク時のトラフィック量を平滑化することが可能となる。その結果、ネットワーク運用者による過剰な回線容量の増設を防ぎ、運用コストの削減に寄与するとともに、無駄な電力消費を削減することができる。

- マルチホームベースのデータ転送時経路選択技術

現在のネットワークでは、一般に、ホストは通信相手のホストとの通信を保持したまま、当該通信に利用しているインタフェース、すなわち、データ転送経路を切り替えることが困難である。一方で、近年のアクセスネットワークの多様化とマルチホームホストの普及に対応して、これを可能とする様々な提案が行われている[18][19]。例えば[18]ではホストIDを情報の宛先として、ホストのロケーションIDが時々刻々と変化する通信に対して情報の継続的転送を可能とする。このような技術は「情報を宛先としてホストのロケーションIDが時々刻々と変化する」新アーキテクチャとの親和性も高く、新アーキテクチャに沿ってより最適化された仕組みを検討することが望まれる。

また、マルチホームホストにおけるデータ転送時の経路選択技術は、近年のモバイルデータネットワークで大きな問題となっている無線アクセスネットワーク区間の輻輳を緩和する効果も期待できる。スマートフォンが急速に普及し、例えば au (KDDI) において 2012 年にはその数が従来の携帯端末の数を上回ると予想されている[20]。さらに、スマートフォンの発着信するトラフィックの量は従来端末の 20~30 倍と言われており[21]、これに伴って通信キャリアが扱うモバイルトラフィック量は、例えば、AT&T において 2006 年から 3 年間で 50 倍以上と爆発的に増大する見込である[22] (図 10)。急増するトラフィックを收容するために、よりシステム周波数利用効率の高いモバイルデータネットワークに移行することはもちろん、利用効率に優れた WiFi 回線や周波数資源制約のない固定回線を積極的に活用することが求められる。これらの背景からも、データ転送中に適切なアクセスネットワークを選択する技術が今後重要である。

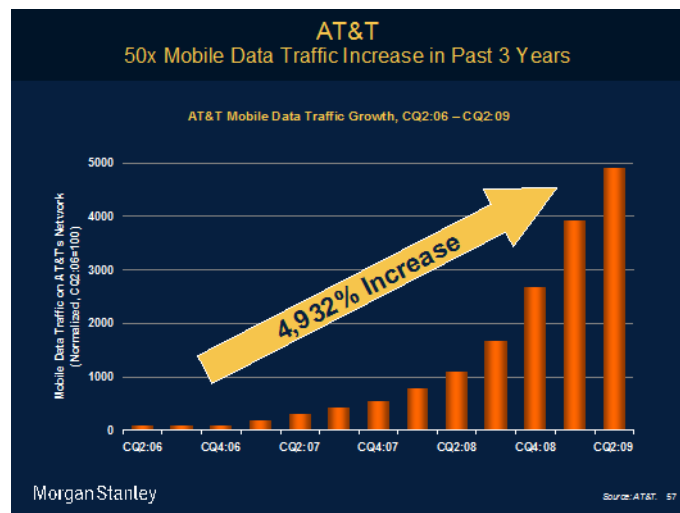


図 10. AT&T によるモバイルデータの予測

- 省電力データ転送技術

現在のインターネットは、ネットワーク層における IP データグラム (パケット) を単位としてエンドツーエンドの通信がなされる。ネットワークの接続点では、その接続点にあるルータがパケットのヘッダに埋めこまれた宛先 IP アドレスをルータ内の経路表と照合して (経路表検索)、適切な出力回線にパケットを転送する。現在、インターネットの基幹ルータ内の経路表は BGP (ボーダーゲートウェイプロトコル) によって作られており、そのエントリ数は 40 万に達する[23]。多くの基幹ルータでは、他のネットワークとの接続は光ファイバを通じて行われているが、経路表の検索は光信号を電気信号に変換し、大規模な TCAM (Ternary Content Addressable/Associative Memory) を用いて電子的に行われる。検索はパケットごとに行われ、かつ、メモリ全体で照合が行われるため大きな電力を消費する。ルータの消費電力の内 42% が外部機器とのインタフェースを持つラインカードが占め、32% が検索にかかる LSI によるという報告もある[24]。パケット転送にかかる消費電力を削減する方法として以下の四つが考えられる。すべてライブ情報流通ネットワークに限らず一般のネットワークに適用できるインフラ構築技術であるが、特に、第 3、第 4 の方法は本章に記述した識別子を積極的に活用したルーティングなどへの応用を期待できる。

一つ目の方法は、光パスとトラフィックエンジニアリングを活用することによるパケット交換のカットスルーである[25]。これは、大量のデータが流れる 2 点間に光パスを設定し、途中の系で発生するパケット交換を省略するもので、光電気変換およびパケット毎の経路表検索処理をバイパスできる。しかしこの方法は、単一のネットワーク管理域内 (単一ドメイン) では適用可能であるが、BGP が適用される領域では用いることができない。

二つ目の方法は、パケット交換の光化である[26]。光信号から電気信号への変換を最小限 (たとえば文献[26]ではヘッダに相当する部分のみ) にすることで省電力を実現する。光信号の広帯域性を活用し、ヘッダ処理を最低限に抑えることにより、宛先処理自体のさらなる省電力化も実現できると考えられる。

三つ目の方法はパケットの宛先検索構造の工夫に関してで、TCAM を使うが複数の小さな TCAM を複数用いて電力を消費する範囲を小さくしたり、あるいは、TCAM ではなく SRAM や DRAM などの消費電力が小

さなメモリを宛先検索に用いたりし、新たな宛先検索構造の構築とともに消費電力の低減を図る[27][28]。

最後は経路表を小さくする方式で、たとえば、プロバイダ集約といわれる階層型のアドレス構造に従うロケータ割当を各ネットワークや各ルータインタフェースと端末に施すことで経路表サイズを小さくする[29]。すべてのプロバイダのロケータを階層型とせずとも、末端のネットワークのロケータを階層構造にするだけでも経路表サイズの削減が可能であるという評価もある[30]。また、ID・ロケータ分離構造にすると、たとえば LISP[31]のようなオーバーレイ型でも、ホスト ID ベース[15]のものであっても、エッジネットワークと基幹ネットワークにおいて経路制御が分離されるために、経路表のエントリ数を小さくすることができる。

- ネットワーク管理

今のネットワーク運用管理では、ルータやサーバといった個々のネットワークノード単体の設備の稼働状況を監視するだけでなく、複数のノードを跨った(1)ネットワークとしての稼働状況、(2)サービスとしての稼働状況を監視する必要がある。(1)の例としては、インターネットや内部ネットワークの経路監視[32]等が挙げられる。一方、(2)についてはホスト間でのエンド・エンド疎通監視や品質監視[33]、フローベースのトラフィック監視[34]等が挙げられる。しかしながら、これらは、現在の「ホストを宛先として通信をする」ネットワークアーキテクチャを前提として実現されていることに注意する必要がある。新ネットワークアーキテクチャでは、先に述べたように、流通する情報自体（データ ID・コンテンツ ID）を宛先に指定し、これをホスト（ノード ID・ロケーション ID）に変換した上で通信を行ったり、あるいは、データ ID やコンテンツ ID をもとにルーティングしたりする。よって(1)や(2)に関して、例えば「ホスト・情報間」の経路監視や品質監視、あるいは、複製データ保存機能やネットワーク内処理機能等を持つ中間ノードを意識した監視が要求されるなど現在のネットワーク運用管理のフレームワークの大幅な見直しを行う必要がある。

- 認証基盤

ネットワークに接続される 1000 億のセンサ・アクチュエータデバイスの登録削除や、10 億のモバイル端末の移動時の位置情報更新、さらには、超大量の情報やコンテンツの保持には認証やプライバシー保護技術が必要となる。時々刻々と情報が生成されネットワークに送出されるライブ情報ネットワークの利用形態において、大量のデバイス・端末がネットワークに対して随時参加・離脱を行ないながらも、ネットワーク性能を犠牲にしない信頼性の管理を行うための認証・信頼基盤[35]が必要となる。また、コンテンツへのアクセスを端末・デバイスによらず、データ ID やコンテンツ ID、サービス ID、属性の認証によって行う機能が必要となる。あるいは、低機能なデバイスでも実行可能な軽量暗号プロトコルが必要となろう。

6. アーキテクチャフレームワーク

6.1 ライブ情報流通ネットワークのアーキテクチャフレームワーク

ライブ情報流通ネットワークにおいて、モバイル端末やセンサ等からの情報（データ）の生成からユーザである消費者による情報（コンテンツ等）の取得までの一連の情報の流れを示すアーキテクチャフレームワークを本章で示す。サービス制御機能、マップサービス機能、データ保存機能、複製データ保存機能、ネット内処理機能をアーキテクチャの機能とし、それらの機能間や情報の生成者、消費者との間に発生する信号および情報交換のアーキテクチャフレームワークを示す。各機能は複数の個体からなり、個体間、例えばマップサービス機能の場合は複数のマップサービス機能間で情報交換が必要になるが、本稿では機能内部での情報交換は示さない。

以下に生成者、消費者、および、各機能の定義を述べる。

- 生成者
データを生成し送出するオブジェクト。移動体、固定端末、センサなどネットワークへの送信機能を持つもの。センサが通信機能を持たない場合は、センサが発したデータを一次保持者が通信機能を有する場合、その一次保持者を生成者と考える。
- 消費者
情報を最終的に取得するオブジェクト。情報受信要求を出すかどうかに関係なく情報を受取るオブジェクトを指す。
- サービス制御機能
ネットワークサービスに関する以下のような種々の制御を実行する。消費者に対しては、そのデータ受信要求を一義的に受けとりネットワーク内機能に対して適切な処置を施したり、データ受信に必要な情報を消費者に回答したりする。また、ネットワーク内の情報流通制御を担う。機能内にユーザプロファイル、経路制御、キャッシングポリシーが実装される。
- マップサービス機能
情報とその情報が保存されているノード、位置、用いられているサービスの関係づけや、オブジェクトとそのオブジェクトがある位置の関係づけ、消費者とその消費者が利用するサービスなどを関連づける機能。
- データ保存機能
生成された情報を保存するネットワーク内機能。下記のネットワーク内処理により、新たに生成される情報を含めてオリジナルの情報を保存する。
- 複製データ保存機能
情報を一時的に保存するネットワーク内機能。データ保存機能から複製された情報を一時的に保存したりする。
- ネットワーク内処理機能
情報を異なる形に変換する処理を行うネットワーク内機能。

これらの機能間で以下に定義する識別子を含むメッセージを交換しながらデータを転送する。識別子は文献[36]にて定義されているユーザ ID、データ・コンテンツ ID、サービス ID、ノード ID、ロケーション ID を用いる。ただし、本稿では、ユーザ ID をさらに、生成者 ID および消費者 ID に分割する。具体的には、以下のとおりである。

- A) ユーザ ID
ネットワークにおいてユーザを識別するためにユーザに与えられるユニークな識別子。サービス時にユーザに対する検索、認証、認可、課金に用いられる。
- B) 生成者 ID
ユーザ ID のうち、データを送出するユーザに与えられる識別子。
- C) 消費者 ID
ユーザ ID のうち、データを受信するユーザに与えられる識別子。
- D) データ ID およびコンテンツ ID
ロケーションや保持者とは独立して、データやコンテンツを識別するためにそれらに与えられるユニークな識別子。情報中心のパラダイムに基づいたネットワークアーキテクチャを構成するために、また、情報のノード処理やコンテンツ流通する際のセキュリティを高めるのに、あるいは、コンテンツを移動

- したりキャッシュして保持したりするために有用である。
- E) サービス ID
コンテンツサービス ID とネットワークサービス ID に分割される。コンテンツサービス ID はアプリケーションサービスを規定し、サービスに関係する属性（セキュリティ鍵、シーケンス番号、状態など）を関連づけするために用いられる。これは主にサーバやクライアントノードにてサービスを識別するのに主として用いられる。ネットワークサービス ID は、ネットワークのノードによるデータ転送サービスを規定するネットワーク仮想化における論理的に分割されたネットワーク（LINP; Logically Isolated Network Partition）[37]や、VLAN、データパケットを処理する特殊なプロトコル（フォワーディング、キューイング、QoS サポート）を指すことがある。
 - F) ノード ID
物理デバイスあるいは論理デバイスを識別するために、その位置と独立して割当てられる。移動体のアクセス制御やノード間の信頼確立、あるいは、ノード間にすでに確立されたセッションを識別するために用いられる。
 - G) ロケーション ID
ロケータとも呼ばれる。ネットワークの論理構造（トポロジ）上、位置を特定するためにデバイスやノードに与えられる。ノードの位置を特定するためにルーティング基盤上で用いられる。ロケータフォーマットは宛先ノードの位置を指したり、ネットワーク中で宛先ノードに向かってデータを転送したりするために用いられる。ネットワーク層プロトコルや経路制御プロトコルに依存する。

情報のアップロード、ダウンロード、情報の分配、情報の登録、およびアクチュエータ駆動に関する機能間の信号と情報の流れについて以下に記載する。図 11 はそれらすべての処理における機能間の信号と情報の流れを示したものである。実線は情報の流れを示し、破線は制御信号の流れを示す。矢印の向きは、情報の流れに関しては情報が流れる向きになっている。信号の流れに関しては起点となるほうが元である。情報の流れでは TCP における ACK、信号の流れには要求に対する応答の信号もあり双方向の通信が行われるがここでは省略している。別目的で双方が情報の流れの上流や制御の起点になる場合には、双方向の矢印を用いている。以降の図 12～図 18 についても同じ矢印を用いている。

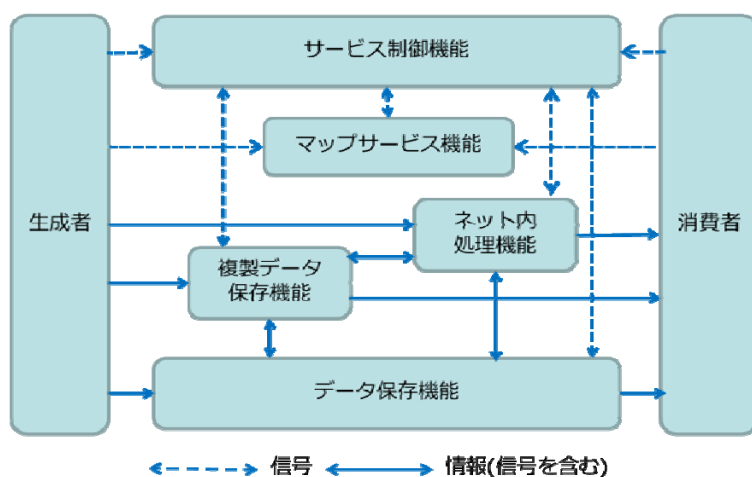


図 11. アーキテクチャフレームワーク（全体像）

情報のアップロード

情報のアップロードでは、下記の5ケースの情報の流れを想定した設計とする。図 12 の実線に機能間の情報の流れを示す。ネットワーク内の機能が起点となる信号や情報を青字で、生成者・消費者が起点となる信号や情報を朱字で示している。

- (1) 生成者→データ保存機能→複製データ保存機能
情報のアップロードを、生成者からデータ保存機能へ送出し、データ保存機能から複製データ保存機能へ展開する。
- (2) 生成者→複製データ保存機能→データ保存機能

情報のアップロードを、生成者から複製データ保存機能へ送出し、複製データ保存機能からデータ保存機能へ展開する。

- (3) 生成者→ネット内処理機能→データ保存機能
情報のアップロード時に、ネットワーク内処理機能において情報の加工処理を行い、処理された情報をデータ保存機能へ展開する。
- (4) 生成者→ネット内処理機能→複製データ保存機能
情報のアップロード時に、ネット内処理機能において情報の加工処理を行い、処理された情報を複製データ保存機能へ展開する。
- (5) 生成者→ネット内処理機能→複製データ保存機能→データ保存機能
情報のアップロード時に、ネット内処理機能において情報の加工処理を行い、処理された情報を複製データ保存機能へ展開する。その後、複製データ保存機能からデータ保存機能へ展開する。

いずれの場合も、生成者がデータをアップロードするまで下記 A)–H) の機能間で必要な信号 (図 12) を交換し制御を実施する。

- A) 生成者→ マップサービス機能
サービス制御機能の名前解決。アップロード先のデータ複製/データ保存/ネット内処理機能の名前解決。
- B) 生成者→ サービス制御機能
サービス ID 取得。情報アップロード要求。
- C) サービス制御機能 → マップサービス機能
生成者からのアップロードに対し必要な機能の名前解決。サービス制御機能に届いた ID から生成されたマップ情報の登録。
- D) サービス制御機能 → 複製データ保存機能
生成者からのアップロードのため (2) (5) の情報を転送する命令。
- E) サービス制御機能→ データ保存機能
生成者からのアップロード要求に対し (1) の情報を転送する命令。
- F) サービス制御機能 → ネット内処理機能
生成者からのアップロード要求に対し (3) (4) (5) の処理をしたり結果を転送したりする命令。
- G) 複製データ保存機能 → サービス制御機能
生成者からアップロードされた情報の ID を転送。
- H) データ保存機能→ サービス制御機能
生成者からアップロードされた情報の ID を転送。

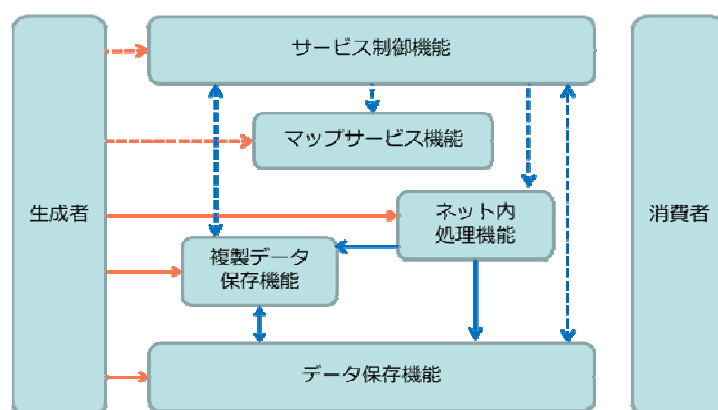


図 12. データアップロード時の信号とデータフロー

情報のダウンロード

情報のダウンロードでは、下記の 9 ケースの情報の流れを想定した設計とする。図 13 の実線に機能間の情報の流れを示す。

- (6) 複製データ保存機能→消費者

消費者は、複製データ保存機能に展開済の情報を複製データ保存機能から受信する。

- (7) データ保存機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、データ保存機能から受信する。
- (8) データ保存機能→複製データ保存機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、データ保存機能から複製データ保存機能に展開した上で、複製データ保存機能から受信する。
- (9) 複製データ保存機能→ネット内処理機能→複製データ保存機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に展開済の情報を、ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で、複製データ保存機能から受信する。
- (10) 複製データ保存機能→ネット内処理機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に展開済の情報を、ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で受信する。
- (11) データ保存機能→ネット内処理機能→複製データ保存機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で複製データ保存機能から受信する。
- (12) データ保存機能→ネット内処理機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で受信する。
- (13) データ保存機能→複製データ保存機能→ネット内処理機能→複製データ保存機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、データ保存機能から複製データ保存機能に展開し（さらに）ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で、複製データ保存機能から受信する。
- (14) データ保存機能→複製データ保存機能→ネット内処理機能→消費者
消費者は、複製データ保存機能に未展開の情報を、データ保存機能から複製データ保存機能に展開し（さらに）ネットワーク内処理機能により加工処理を行った上で、受信する。

いずれの場合も、消費者がデータをダウンロードする際に下記 A)~F) の機能間で必要な信号（図 13）を交換し制御を実施する。

- A) 消費者→ マップサービス機能
サービス制御機能の名前解決。ダウンロード先の機能の名前解決。
- B) 消費者→ サービス制御機能
サービス ID 取得。情報ダウンロード要求。
- C) サービス制御機能 → マップサービス機能
消費者からのダウンロード要求に対し必要な機能の名前解決。
- D) サービス制御機能 → 複製データ保存機能
消費者からのダウンロード要求に対し(6) (8) (9) (10) (11) (13) (14) の情報を転送する命令。
- E) サービス制御機能 → データ保存機能
消費者からのダウンロード要求に対し(7) (8) (11) (12) (13) (14) の情報を転送する命令。
- F) サービス制御機能 → ネット内処理機能
消費者からのダウンロード要求に対し(9)~(14) の処理をしたり結果を転送したりする命令。

これらをどう用いるかはサービス形態による。例えば、消費者が起点となって全ての要求を生成するモデルの場合は A) はサービス制御機能の名前解決とダウンロード先の機能の名前解決を行なう。その後消費者は複製データ保存機能またはデータ保存機能から情報を受けとる。サービス制御機能が消費者の要求を代行するモデルの場合は A) はサービス制御機能の名前解決のみとなるが、サービス機能がダウンロード先への要求をすべて行なう。その後消費者は複製データ保存機能またはデータ保存機能から情報を受けとる。

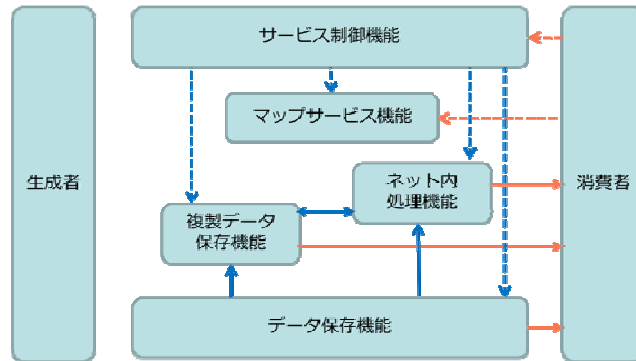


図 13. データダウンロード時の信号とデータフロー

情報の分配

情報の分配では、下記の4ケースの情報の流れを想定した設計とする。図 14 の実線に機能間の情報の流れを示す。

- (15) (情報の複製) データ保存機能 → 複製データ保存機能
データ保存機能に格納された情報を複製データ保存機能に送出、格納し、情報の複製を作成する。
- (16) (データ処理) データ保存機能または複製データ保存機能 → ネット内処理機能 → データ保存機能
データ保存機能または複製データ保存機能（片方あるいは両方）に格納された情報をネット内処理機能に送出し、ネット内処理機能で加工された情報をデータ保存機能に格納する。
- (17) (データ処理) データ保存機能または複製データ保存機能 → ネット内処理機能 → 複製データ保存機能
データ保存機能または複製データ保存機能（片方あるいは両方）に格納された情報をネット内処理機能に送出し、ネット内処理機能で加工された情報を複製データ保存機能に格納する。
- (18) (データ削除) サービス制御機能 → マップサービス機能および複製データ保存機能
複製データ保存機能にある情報を削除する（とともにマップサービス機能に登録された情報を削除する）。

いずれの場合も、情報を分配する際に下記 A) -D) の機能間で必要な信号（図 14）を交換し制御を実施する。

- A) サービス制御機能 → 複製データ保存機能
情報の複製。(16) (17) ネット内処理の配備。(18) 情報の削除。
- B) サービス制御機能 → データ保存機能
(15) 情報の複製。(16) (17) ネット内処理の配備。(18) 情報の削除。
- C) サービス制御機能 → ネット内処理機能
(16) (17) ネット内処理の実行。処理負荷状況の通知。複製データ保存機能の情報蓄積量の通知。
- D) サービス制御機能 → マップサービス機能
情報の分配に必要な機能の名前解決。(15) (16) (17) によってサービス制御機能に届いた ID から生成されたマップ情報の登録。(18) 登録情報の削除。

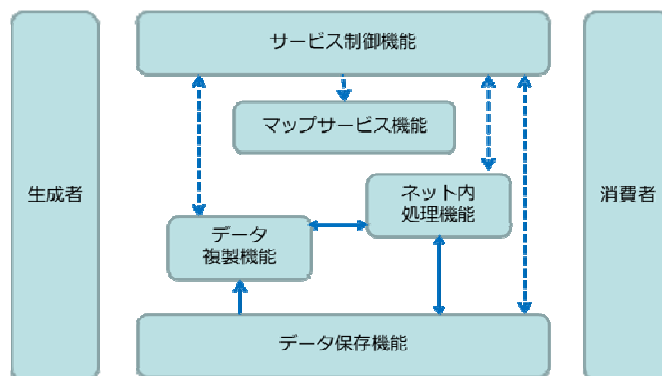


図 14. データ分配時の信号およびデータ転送のフレームワーク

端末／情報の登録

端末／情報の登録では、下記の6ケースの情報の流れを想定した設計とする（図15）。

- (19) 生成者→サービス制御機能→マップサービス機能
端末／情報の登録情報を、生成者からサービス制御機能へ送出し、サービス制御機能からマップサービス機能へ展開する。
- (20) 生成者→マップサービス機能→サービス制御機能
端末／情報の登録を、生成者からマップサービス機能へ送出し、マップサービス機能からサービス制御機能へ展開する。
- (21) 生成者→サービス制御機能、生成者→マップサービス機能
端末／情報の登録を、生成者からサービス制御機能とマップサービス機能へ送出する。
- (22) 消費者→サービス制御機能→マップサービス機能
端末の登録情報を、消費者からサービス制御機能へ送出し、サービス制御機能からマップサービス機能へ展開する。
- (23) 消費者→マップサービス機能→サービス制御機能
端末の登録情報を、消費者からマップサービス機能へ送出し、マップサービス機能からサービス制御機能へ展開する。
- (24) 消費者→サービス制御機能、消費者→マップサービス機能
端末の登録情報を、消費者からサービス制御機能とマップサービス機能へ送出する。

情報の登録時には、必要に応じて、生成者 ID・消費者 ID、サービス ID、データ ID、ノード ID、ロケーション ID を用いて適切に制御する。

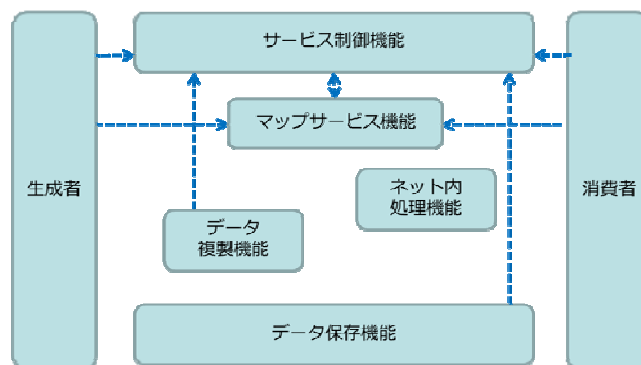


図15. 情報および機器登録時の信号転送のフレームワーク

アクチュエータ駆動

アクチュエータを管理し駆動するサービスを提供する際の情報の流れは以下の3通りで表される。図16の実線に機能間の情報の流れを示す。なお、サービス制御機能がアクチュエータ駆動のための実行シナリオを持っていることを前提とする。

- (25) 複製データ保存機能 → 消費者
複製データ保存機能は、サービス制御機能からの要求に従って、アクチュエータの実行内容を記述したデータを消費者（アクチュエータ）に送る。消費者（アクチュエータ）はデータに記載された内容を実行する。
- (26) データ保存機能 → 消費者
データ保存機能は、サービス制御機能からの要求に従って、アクチュエータの実行内容を記述したデータを消費者（アクチュエータ）に送る。消費者（アクチュエータ）はデータに記載された内容を実行する。
- (27) データ保存機能 または複製データ保存機能 → ネットワーク内処理機能→消費者
データ保存機能または複製データ保存機能は、サービス制御機能からの要求に従って、データをネットワーク内処理機能に送る。ネットワーク処理機能は、サービス制御機能からの要求に従って、受けとったデータを処理し、アクチュエータの実行内容に変換し、そのデータを消費者（アクチュエータ）に送る。消費者（アクチュエータ）はデータに記載された内容を実行する。

いずれの場合も、下記 A) -E) の機能間で必要な信号を交換し制御を実施する（図 16）。

- サービス制御機能 → マップサービス機能
(25) (26) (27) の処理にあたり必要な機能の名前解決。
- サービス制御機能 → 複製データ保存機能
(25) (27) の処理にあたりアクチュエータの実行内容を取り出す命令。
- サービス制御機能 → データ保存機能
(26) (27) の処理にあたりアクチュエータの実行内容を取り出す命令。
- サービス制御機能 → ネット内処理機能
(27) の処理にあたり届いたデータを処理し、加工された実行内容を消費者に送る処理をする命令。

なお、アクチュエータ駆動のみならず、Publish/Subscribe 型通信における加入者（消費者）への情報配信機能がこのモデルで記述可能となる。

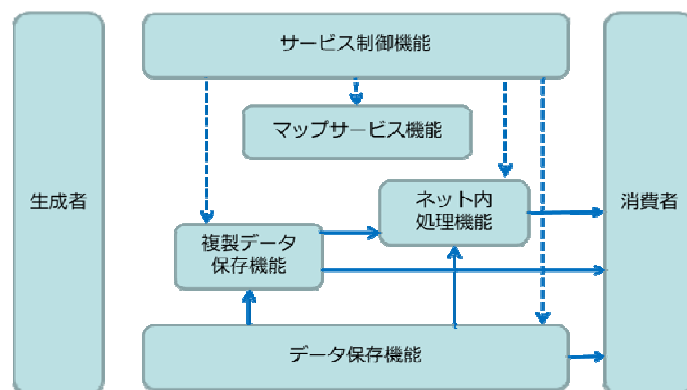


図 16. アクチュエータ駆動時の信号および情報転送のフレームワーク

6.2 既存ネットワーク・情報流通サービスとのフレームワーク比較

インターネット

インターネットにおいて通信の主たるものは Web や電子メール、YouTube、ファイル共有などのサーバクライアント型通信である。データ保存機能を有する生成者が Web サーバ等を構築し、生成者とデータ保存機能が一体化しサーバとなる。消費者はサーバにコンテンツ配信を要求する。検索エンジンが消費者とサーバの仲立ちをするサービス制御機能となる。サービス制御機能を実現するために検索エンジンのバックエンドにクローラが介在し、サーバから最新のデータを取得する。それらの要素間のマップサービスは名前とロケータを変換したり、ロケータから名前を引き出したりする DNS である。

主な情報の流れは以下の 4 通りで表される。

- (1) 情報ダウンロード
生成者・データ保存機能→消費者。
消費者からの生成者・サーバへの要求を契機に情報が流れる。
- (2) 情報検索
消費者→検索エンジン（サービス制御機能）→消費者。
情報ダウンロードの前に行なわれることがある。コンテンツの位置情報が検索エンジンから転送される。
- (3) 情報クロール
生成者・データ保持機能→検索エンジン（サービス制御機能）。
クローラ（サービス制御機能）からの生成者・データ保存機能への要求を契機に情報が流れる。必要に応じてマップサービス機能に対してノード ID（名前）からロケーション ID への変換処理またはその逆変換処理を要求する。
- (4) サーバ登録・削除
生成者・データ保存機能→マップサービス機能。

図 17 に機能間の情報の流れを示す。図中情報や信号の流れは単純に見えるが、実際には、サービス制御機

能とデータ保存機能は互いに独立しており、かつ、それぞれネットワーク提供者とは独立したサービスである。

ライブ情報流通ネットワークがインターネットと異なる点を以下に述べる。

- 生成者とデータ保存機能を分離し、M2M 通信による情報を収集する仕組みを設ける。
- 複製データ保存機能により消費者による情報アクセスをしやすくかつデータ・コンテンツ転送の平滑化を実現する仕組みを設ける。
- ネット内処理により情報から新たな価値を創造する仕組みをネットワークに設ける。
- 新しいサービス制御機能を導入し情報流通の促進を図る。
- 名前とロケーション ID の間のマッピングだけでなく、さまざまな ID のマッピングをするマップサービス機能を設ける。
- ネットワーク事業者と独立して存在する検索エンジン・クローラに変わり、ネットワーク内にサービス制御機能を設ける。

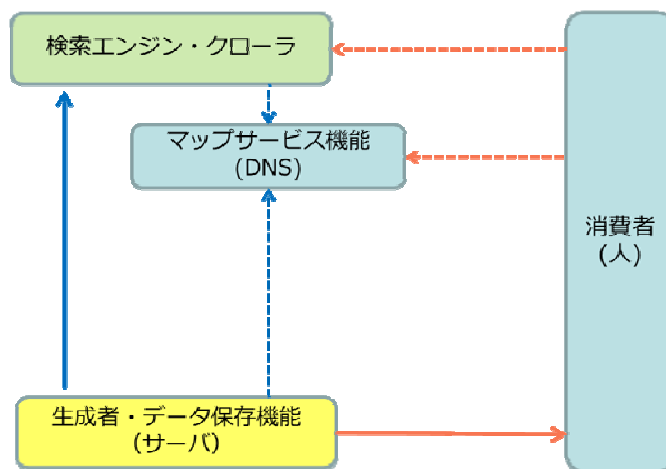


図 17. インターネットのフレームワーク

CDN (Contents Delivery Network)

情報を予めデータ保存機能や複製データ保存機能に格納しておき、要求元（消費者）から情報配信要求があると、情報のロケーションを弾き、情報を要求元に伝達するサービスネットワークである。情報の生成や加工は、ネットワークと切り離れたところで行なわれることが多く、ここではデータ保存機能と生成者を一体として見なす。ネットワーク内処理はない。マップサーバに関しては、CDN では、消費者とのサービス窓口になるサービス制御機能が、消費者に状況にあわせて適切なサーバ（データ保存機能または複製データ保存機能）を指定することで、ストレスの小さなコンテンツ配信を実現している。サービス制御機能の例として、DNS により消費者の最寄りのサーバを指定することが挙げられる。

主な情報の流れは以下の 3 通りで表される。図 18 に機能間の情報の流れを示す。

- (1) データ複製
データ保存機能→複製データ保存機能。サービス制御機能からデータ保存機能への指示を契機に情報が転送される。
- (2) コンテンツ配信
生成者・データ保存機能、または、複製データ保存機能→消費者。消費者からサービス制御機能への要求と消費者へのコンテンツ位置情報の回答を契機に情報が転送される。
- (3) サーバ登録・削除
生成者・データ保存機能→サービス制御機能（複製データ保存機能の登録・削除も同様）。

図 18 に機能間の情報の流れを示す。ここに記したサービス制御機能等の機能はネットワーク提供者の持つ機能とは独立している。実際に機能をネットワークに配備しサービスをする際の複雑さについては次節に述べる。

ライブ情報流通ネットワークが CDN と異なる点を以下に述べる。

- 生成者とデータ保存機能を分離し、M2M 通信による情報を収集する仕組みを設けている。
- ネット内処理により情報から新たな価値を創造する仕組みをネットワークに設けている。
- ネットワーク事業者と独立して存在するサービス制御機能と異なり、ネットワーク内に新しいサービス制御機能を導入し情報流通の促進を図っている。
- マップサービス機能に名前とロケーション ID 間のマッピングだけでなくさまざまな ID のマッピングをする機能を設けている。

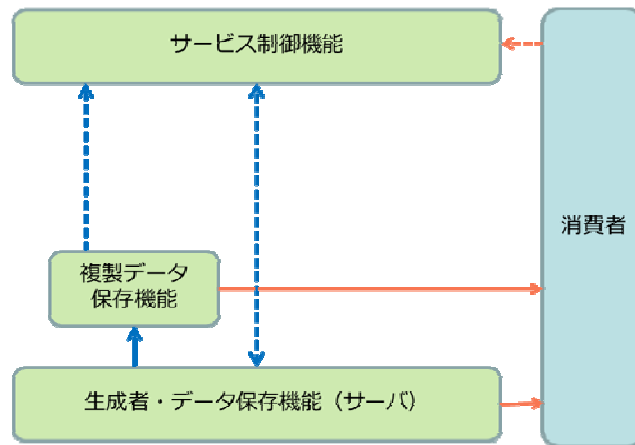


図 18. CDN のフレームワーク

6.3 各機能のネットワーク内展開例

前節までは、ライブ情報流通ネットワークのアーキテクチャフレームワークとして機能間のデータと信号の流れの概要を述べ、さらにインターネットとの機能比較を行った。本節では、それらの機能の違いを前提として、前節までに述べた各機能をネットワーク内に展開する配置例を説明し、ライブ情報流通ネットワークの機能面での優位性を明確にする。

図 19 に前節で述べたインターネット上に情報検索サービスとコンテンツ配信サービスが提供される場合の機能配置例を示す。ライブ情報流通ネットワークにおいては、サービス制御機能に対応する検索エンジンは複数存在し、それぞれがネットワーク提供者によるサービスとは独立したものである。検索エンジンのデータを構成するためにそれぞれの情報取得クローラがインターネット上の Web サーバ（生成者・データ保存機能）からデータを定期的に取り得るため、ネットワーク提供者のネットワーク設計時の想定を超えるトラフィックがネットワーク内に流れる危険性を孕んでいる。このような情報検索サービスは複数あり、ネットワークが過負荷の状態に陥るだけでなく、消費者にとっても適切な検索エンジンの上手な選択が難しい。

図 20 には 6.1 節で述べたライブ情報流通ネットワークにおける機能配置例を示す。この場合には、ネットワークサービス事業者自身が情報流通を管理したり、あるいは、ネットワークサービス事業者と連携するコンテンツ提供者が情報流通を管理したりするので、トラフィックは設備見合いの量となって情報転送にかかる時間や電力消費に関して安定した情報流通が可能となる。

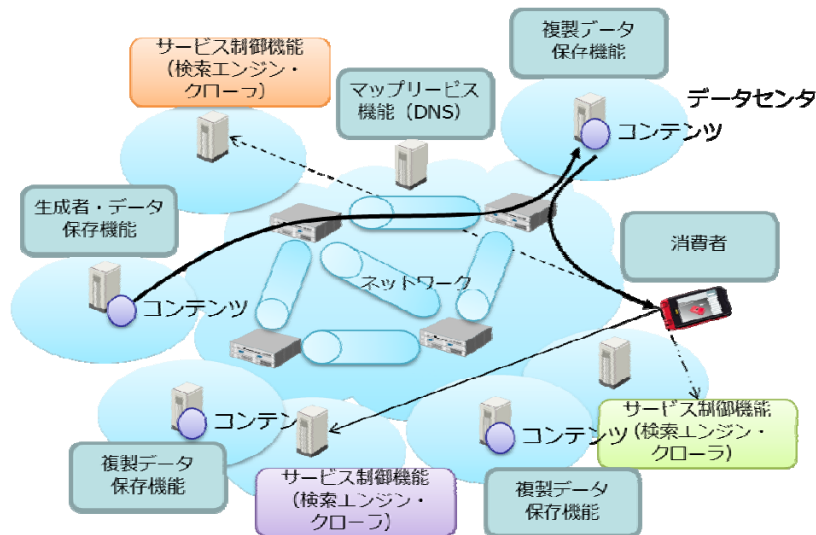


図 19. 情報検索サービスや CDN とネットワーク提供者とが独立するインターネット

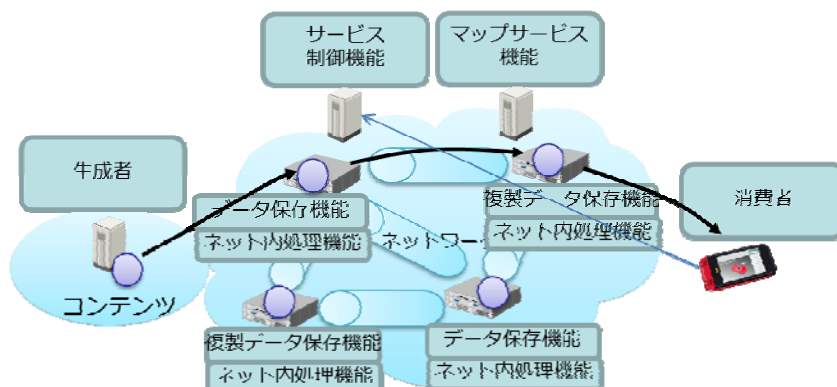


図 20. ライブ情報流通ネットワーク

7 ネットワーク設備設計具体例

本章では、地産地消流量を意識しストレージ間配信流量を推定して、ネットワークの構築・運用に必要な帯域や消費電力等を見積り、単一サービス収容の物理基盤設計や、複数サービス収容の仮想化基盤設計に役立てる。ここで、CDN およびそれをアップロードにも適用した拡張型のコンテンツ配信とライブ情報流通ネットワークのコンテンツ配信を比較する。CDN はコンテンツをネットワークの中央で管理するネットワークモデルであり、ライブ情報流通ネットワークは、コンテンツを分散管理するネットワークモデルである。両者では、扱うデータの種類やネットワーク管理対象等に関してビジネスモデルが異なる。CDN は既存の蓄積型のコンテンツを扱うモデルである。一方、ライブ情報流通ネットワークは、ユーザや機械が発したさまざまなデータから価値を含んだコンテンツまで幅広い情報を扱うとともに、データの多種多様化と増加に伴って必要となるコンテンツの分散管理や、データの局所性や移動性を考慮したネットワークモデルである。本章では、ライブ情報流通ネットワークのトラフィック総量、消費電力総量、ノードのキャッシュ容量を導出するための計算モデルを構築し、それらの数量を見積った。コンテンツをネットワークの中央で管理する CDN とくらべて、ライブ情報流通ネットワークでは、必要な回線容量と消費電力を減らすことができ、利用者にとってもデータアクセスまでの時間短縮に繋がることを述べる。なお、ここでは、ライブ情報流通ネットワークを単一ドメイン管理による大規模情報流通ネットワークととらえている。

図 21 にライブ情報流通ネットワークのトポロジの一例を示す。ネットワークは、コア、メトロ、アクセス、エンドから構成される。コアネットワークの各コアノードには、コアルータ (CR) およびストレージ (St) がある。コアノードのストレージはキャッシュとして用いられ、キャッシュにヒットした場合はストレージからコンテンツを引き出す。同様に、メトロネットワークの各エッジノードには、エッジルータ (ER) およびストレージがある。エッジノードにはキャッシュがあり、キャッシュにヒットした場合はストレージからコンテンツを引き出す。なお、図中の表記は誌面の見やすさを保つために省略したが、コアノードを CN、エッジノードを EN、端末を UT と以降の本文中で表記することもある。1つのメトロネットワークには8個のエッジノードがあるものとする。アクセスネットワークには、局舎側の光回線終端装置 (OLT) と、加入者側の光回線終端装置 (ONU) が設置されている。エンドでは、固定端末および移動端末が存在する。6章に述べた機能にマッピングすると、コアノード、エッジノードには、データ保存機能と複製データ保存機能がある (ネット内処理機能、マップサービス機能、サービス制御機能もあるが本章の見積と関係しない)。固定端末と移動端末は生成者または消費者、あるいはその両方になる。

以降では、送受信端末が移動する「移動端末」の場合の数値計算と、送受信端末が固定の「固定端末」場合の数値計算の2種類に分けて、トラフィック総量、消費電力総量、ノードキャッシュ容量等の数値を見積もる。

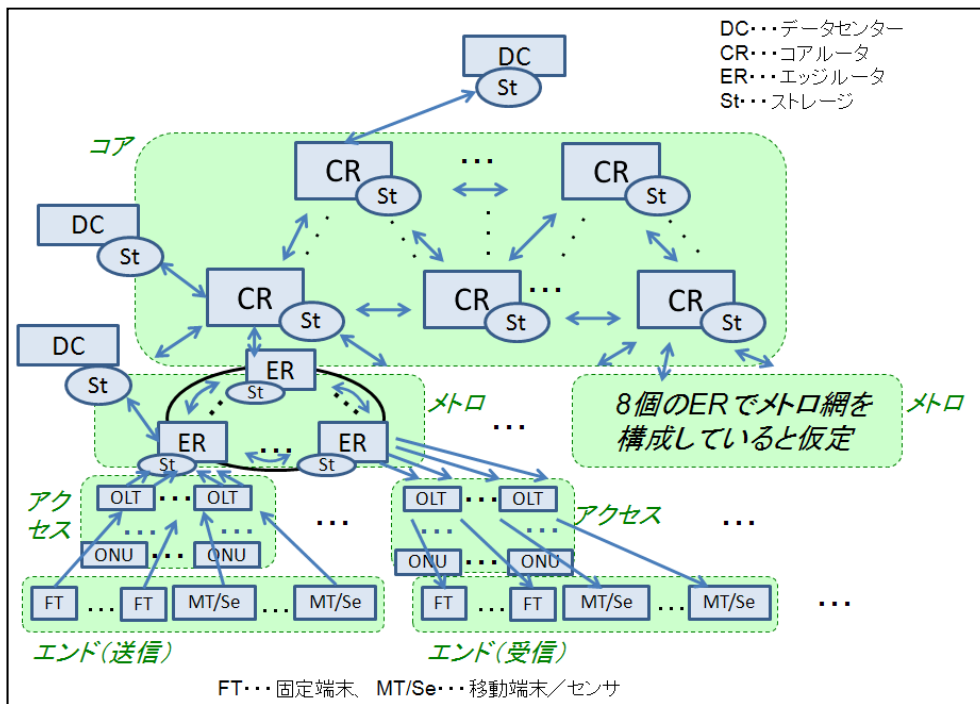


図 21. 見積りに用いたライブ情報流通ネットワークのトポロジ

7.1 移動端末の場合の数値計算

本節では、送受信端末が移動しながらデータを発信したり受信したりする場合のネットワークのデータ流通を推定する計算モデルを構築し、トラフィック総量、消費電力総量、ノードストレージ容量を見積もる。計算モデルの構築にあたり、ローカリティ(局所性)等を考慮し、かつ、情報を生成・送信し、その情報が蓄積された後に消費されるという一連のサイクルを考える。各端末(生成者兼消費者)は、双方向通信が可能だが、同時には1つの情報を送信または受信できると想定する。あるノードに既に蓄積された情報を他のノードにコピーするような通信は、本数値計算の対象外とする。

図 22 に、見積り対象とするライブ情報流通ネットワークにおけるデータの流れを示す。情報をストレージ(6章におけるデータ保存機能や複製データ保存機能)にアップロードする際、その情報をエッジノードにもコアノードにも残さない場合は、ネットワークドメインの外側(例えば、データセンタ)にあるストレージ(以下、ドメイン外部のストレージ)に情報を蓄積するものとする。一方、情報をダウンロードする際、エッジノードにもコアノードにもヒットしない場合は、ドメイン外部のストレージから情報を引き出すものとする。

生成者からアップロードされた情報を最も近傍のエッジノードに残し、そのエッジノードから消費者が情報をダウンロードする場合、図 23 のケース 1、2、3 の3種類に分類できる。コアノードやドメイン外部のストレージから情報を取得するのではなく、エッジノードに取得しに行くことが、従来の CDN とは異なるアプローチとなる。送信端末(生成者)と受信端末(消費者)が両方移動している状況を対象とすることから、端末がアクセスするエッジノードが時間の経過とともに異なる可能性がある。(なお、図 23 において、送信端末が移動する場合も、結局は、ケース 1、2、3 のいずれかに属する。)ケース 1 は、送信端末から送出された情報が最も近傍のエッジノードにアップロード(蓄積)され、そのエッジノードから受信端末がダウンロードするケースである(図 22 朱線)。情報の地産地消である。ケース 2 は、送信端末から送出された情報が最も近傍のエッジノードに蓄積され、そのエッジノードと同じメトロネットワーク内に存在する別のエッジノードから受信端末がダウンロードするケースである(図 22 青線)。ケース 3 は、送信端末から送出された情報が最も近傍のエッジノードに蓄積され、そのエッジノードと別のメトロネットワークに存在する別のエッジノードから、受信端末がダウンロードするケースである(図 22 緑線)。すなわち、ケース 3 では、データがコアネットワークを経由する。ケース 4 では、送信端末から送出された情報を、エッジノードには残さずコアノードにアップロードする。受信端末(消費者)は、所望の情報がエッジノードキャッシュにヒットしないため、コアノードキャッシュを探索し、ヒットした時に、そのコアノードに蓄積された情報をダウンロードする。ケ

ケース5では、送信端末から送信された情報を、エッジノードにもコアノードにも残さない。この場合、ネットワークのエッジノードにもコアノードにも情報が存在せず、ドメイン外部のストレージに蓄積される。受信端末はドメイン外部を探索し、そのストレージに蓄積された情報をダウンロードする。

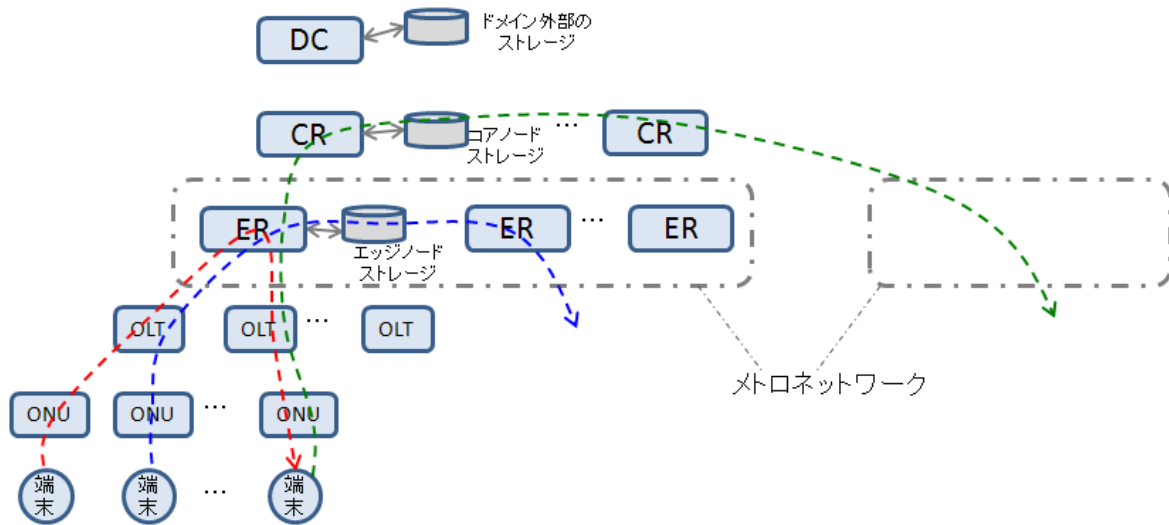
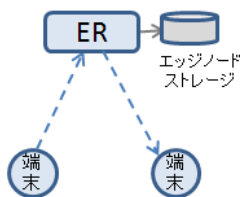
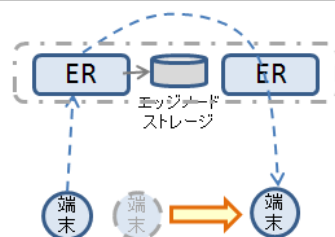


図 22. 移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（全体）

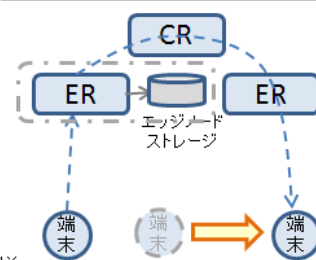
ケース1（同じERに存在）



ケース2（同じメトロ網内の別ER）

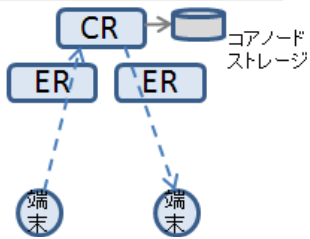


ケース3（別のメトロ網のER）



*送信端末が移動する場合も同様。

ケース4（コアノードに存在）



ケース5（ドメイン外部に存在（エッジでもコアでもヒットしない））

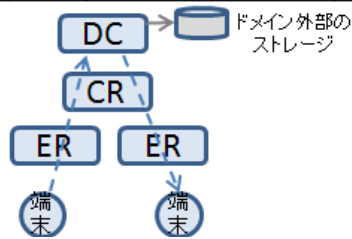


図 23. 移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（ヒット別）

各種計算のための前提条件

M2M 無線通信端末を、固定センサや防犯カメラ、アクチュエータデバイスといった固定無線端末と、携帯電話や車両通信端末のような移動体端末に分類する。4章の設計目標にしたがって、1オペレータあたり、固定無線端末が1000億（ 10^{11} ）台、移動体端末数 $X=10$ 億（ 10^9 、全国で1人あたり約10台）とする。全国に363ある人口8万人以上の区市町村それぞれが一つのメトロネットワークを構成すると仮定して、全国のメトロネットワークの数を363とする。1メトロネットワークあたりのエッジノード数を8とする。それにより、エッジノード数 $N = 8$ (ER数/メトロ網) $\times 363$ (メトロ網数) $= 2,904$ が得られる。すなわち、エッジノードあたりの平均移動体端末数は344,352となる。都道府県あたり平均2のコアノードがあるとし、コアノード数 $M = 100$

とする。この場合、1コアノードが、平均3~4つのメトロネットワークを収容することになる。情報のアップロードはビットレート $c_u=20\text{Kbps}$ で常時発信、ダウンロードはビットレート $c_d=32\text{Kbps}$ とする。

全てのデータ伝送の中で、ケース1~5の発生確率（ヒット率）を各々 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta, \gamma$ とする ($\alpha=\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3$)。文献[38]によれば、YouTubeのエンターテインメントに分類されるビデオコンテンツ（総数=1,687,506）のうち、10,000回以上アクセスのあったコンテンツはトップ10万コンテンツ（全体アクセスに対して約6%のヒット率）であり、1,000回以上アクセスのあったコンテンツはトップ50万コンテンツ（同約30%）、という結果が報告されている。このYouTubeの例を参考に、10,000回以上アクセスされるような情報をエッジノードに蓄積し、1,000回以上10,000回未満アクセスされるような情報をコアノードに蓄積すると仮定すると、 $\alpha=0.06, \beta=0.24, \gamma=0.70$ となる ($\beta=1-(\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3)-\gamma$)。

本節では、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ の値を、下記のように仮定する。

ケース1の確率： $\alpha_1 = 0.03$

ケース2の確率： $\alpha_2 = 0.02$

ケース3の確率： $\alpha_3 = 0.01$

(* $\alpha=\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3=0.06$)

但し、送信端末と受信端末が両方移動している状況を対象とすることから、端末からアクセスする最も近傍のエッジノードが時間の経過とともに変わる可能性がある。すなわち、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ の値が頻繁に時間変動する可能性が高いが、本計算では、全体のネットワーク規模把握という目的に沿って単純に上記の値を用いることとし、トラフィック総量、消費電力総量、ノードストレージ容量を見積もる。なお、トラフィック総量および消費電力総量を見積もるにあたり、無線も含めた全端末が常に同時に送受信すると仮定することで、それらの最大値「最大瞬間風速」を見積もる。

トラフィック総量（アップロード+ダウンロード）

ネットワークをドメイン外部=コアノード間（ドメイン外部データセンタとコアネットワークの間）、CN=CN間（ドメイン外部のストレージの最近傍コアノードとメトロネットワークの最近傍コアノードの間）、CN=EN間（コアネットワークとメトロネットワークの間）、EN=EN間（同じメトロネットワーク内のコアノードの最近傍エッジノードと端末の最近傍エッジノードとの間）、EN=UT間の、5種類の通信エリアに分類する。

ケース1については、EN=UT間が($\alpha_1 c_u X + \alpha_1 c_d X$)のトラフィック量となる。ここで、 c_u を含む項がアップロード、 c_d を含む項がダウンロードである。ケース2では、EN=UT間が($\alpha_2 c_u X + \alpha_2 c_d X$)、EN=EN間がダウンロードのみとなり、($\alpha_2 c_d X$)である。ケース3では、EN=UT間が($\alpha_3 c_u X + \alpha_3 c_d X$)、EN=EN間、CN=EN間が、各々、($2 \times \alpha_3 c_d X$)のトラフィック量となり、CN=CN間については($\alpha_3 c_d X$)となる。ケース4では、EN=UT間、EN=EN間、CN=EN間が、各々、($\beta c_u X + \beta c_d X$)のトラフィック量となり、CN=CN間についてはダウンロードのみで、($\beta c_d X$)となる。ケース5では、すべての通信エリアにおいて、($\gamma c_u X + \gamma c_d X$)のトラフィック量となる。

表1に、各ケースにおけるトラフィック総量の見積もり値を示す。各通信エリアにおいてケース1~5のトラフィック量の合計値がトラフィック総量となる。

表 1. トラフィック総量の見積もり値

	ケース1(同じENに存在)	ケース2(同じメトロ網内の別EN)	ケース3(別メトロ網のEN)
ドメイン外部=CN	0	0	0
CN=CN	0	0	320Gbps
CN=EN	0	0	640Gbps
EN=EN	0	640Gbps	640Gbps
EN=UT	1.56Tbps	1.04Tbps	520Gbps

	ケース4(CNに存在)	ケース5(ドメイン外部を経由)
ドメイン外部=CN	0	36.4Tbps
CN=CN	7.68Tbps	36.4Tbps
CN=EN	12.48Tbps	36.4Tbps
EN=EN	12.48Tbps	36.4Tbps
EN=UT	12.48Tbps	36.4Tbps

表から、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 β 、 γ の値を、前述の前提条件で記した値に設定した場合は、ケース1～3（エッジノード経由）が、ケース4、5の場合と比較して、各通信エリアにおける負荷が低い。これは、 α_1 、 α_2 、 α_3 の値が、 β 、 γ の値と比較して、かなり小さいことによる。ケース1やケース2では、トラヒックが0となる通信エリアが多いので、 α_3 や β 、 γ の値を減らすと、すなわち、なるべくコアネットワークを経由しないようにすると、各通信エリアにおけるトラヒック総量は減る。一方、ケース1、2、3の中では、ケース1においてトラヒック量が0となる通信エリアが多いので、 α ($=\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3$)のうち、 α_1 の値が占める割合が大きいほど、すなわち、なるべく同じエッジノードで情報を送受信した方が、各通信エリアにおけるトラヒック総量（ケース1～5のトラヒック量の合計値）を減らすことができる。

表1から、各通信エリアのトラヒック総量は、EN=UT間が52.0Tbps、EN=EN間が50.2Tbps、CN=EN間が49.5Tbps、CN=CN間が44.4Tbps、ドメイン外部=コアノード間が36.4Tbpsとなる。エッジノード=端末間に関しては、1リンクあたりの平均帯域は $c_u+c_d=52\text{kbps}$ となる。前述の前提条件に記した通り、エッジノードあたりの平均移動体端末数を344,352と仮定しているため、エッジノード1つのカバーエリアのトラヒック量の最大値は17.9Gbpsとなる。メトロネットワーク数を363としたEN=EN間通信に関しては、トラヒック総量が各メトロネットワークで等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量は、 $50.16\text{Tbps}/363=138.2\text{Gbps}$ となる。CN=EN間通信に関しては、EN=EN間と同様の仮定を置くと、リンクあたりのトラヒック量は、 $49.5\text{Tbps}/363=136.4\text{Gbps}$ となる。CN=CN間通信に関しては、コアネットワークをメッシュトポロジと想定しているが、ネットワーク内のリンク数をLとし、トラヒック総量がリンク同士で等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量の最大値は、 $44.4\text{Tbps}/L$ となる。例えば、Lの値を、コアノード数 $N=100$ と同数とすると、 444Gbps となる。ドメイン外部=コアノード間通信に関しては、ドメイン外部（e.g. データセンタ）の数をDとし、トラヒック総量がリンク同士で等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量の最大値は、 $36.4\text{Tbps}/D$ となる。例えば、 $D=10$ とした場合、 3.64Tbps となる。

本条件において、地産地消によるデータアップロード/ダウンロードは、その対極であるデータセンタによるアップロード/ダウンロードに対し、ドメイン外部からENまでのトラヒック量をゼロにできる。表2に参考として各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアにおけるトラヒック総量を示す。

表 2. 各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアのトラヒック総量の見積もり

	ケース1のみ の場合($\alpha_1=1$)	ケース2のみ の場合($\alpha_2=1$)	ケース3のみ の場合($\alpha_3=1$)	ケース4のみ の場合($\beta=1$)	ケース5のみ の場合($\gamma=1$)
ドメイン外部=CN	0	0	0	0	52Tbps
CN=CN	0	0	32Tbps	32Tbps	52Tbps
CN=EN	0	0	64Tbps	52Tbps	52Tbps
EN=EN	0	32Tbps	64Tbps	52Tbps	52Tbps
EN=UT	52Tbps	52Tbps	52Tbps	52Tbps	52Tbps

消費電力総量

本計算では、アップロード及びダウンロードの際に経由するコンポーネント（ルータ、ストレージ、OLT、ONU等）の消費電力を、すべてA [W/Gbps]で等しいと仮定する。また、コアネットワーク内では、平均4ホップ（コアルータを平均3台経由する）と仮定する[39]。

表3に各ケースにおける消費電力の見積もり値を示す。通信エリアはトラヒック総量の見積もり時と同様5種類に分類される。ネットワーク全体の消費電力総量は全通信エリアの全ケースの消費電力の合計値となる。表中各項目内において、 c_u を含む項がアップロード、 c_d を含む項がダウンロードである。また、表中各項目内において、“ α_1X 、 α_2X 、 α_3X 、 βX 、 γX ”を除いたものがアクセスあたりの消費電力であり、 c_u および c_d の係数がアップロード及びダウンロードの際に経由するコンポーネント（ルータ、ストレージ、OLT、ONU）の数である。

表 3. 消費電力量の見積もり

	ケース1 (同じENに存在)	ケース2 (同じメトロ網内の別EN)	ケース3 (別メトロ網のEN)
ドメイン外部=CN	0	0	0
CN=CN	0	0	$\alpha_3 X \times A \times (2c_D)$ <small>2×CR→CR</small>
CN=EN	0	0	$\alpha_3 X \times A \times (2c_D)$ <small>(ER→CR)+(CR→ER)</small>
EN=EN	0	$\alpha_2 X \times A \times (3c_D)$ <small>ストレージ+ER+(ER→ER)</small>	$\alpha_3 X \times A \times (4c_D)$ <small>ストレージ+ER+(ER→ER)+(ER→ER)</small>
EN=UT	$\alpha_1 X \times A \times (4c_U+4c_D)$ <small>(ONU+OLT+ER+ストレージ)+(ストレージ+ER+OLT+ONU)</small>	$\alpha_2 X \times A \times (4c_U+2c_D)$ <small>(ONU+OLT+ER+ストレージ)+(OLT+ONU)</small>	$\alpha_3 X \times A \times (4c_U+2c_D)$ <small>(ONU+OLT+ER+ストレージ)+(OLT+ONU)</small>
合計	$\alpha_1 X \times A \times (4c_U+4c_D)$ [W] + $\alpha_2 X \times A \times (4c_U+5c_D)$ [W] + $\alpha_3 X \times A \times (4c_U+10c_D)$ [W]		

	ケース4 (CNに存在)	ケース5 (ドメイン外部を経由)
ドメイン外部=CN	0	$\gamma X \times A \times (2c_U+3c_D)$ <small>(CR→外部)+ストレージ+ストレージ+外部+外部→CR)</small>
CN=CN	$\beta X \times A \times (4c_D)$ <small>ストレージ+CR+2×(CR→CR)</small>	$\gamma X \times A \times (2c_U+2c_D)$ <small>2×(CR→CR)+2×(CR→CR)</small>
CN=EN	$\beta X \times A \times (2c_U+c_D)$ <small>(ER→CR)+ストレージ+(CR→ER)</small>	$\gamma X \times A \times (c_U+c_D)$ <small>(ER→CR)+(CR→ER)</small>
EN=EN	$\beta X \times A \times (c_U+c_D)$ <small>(ER→ER)+(ER→ER)</small>	$\gamma X \times A \times (c_U+c_D)$ <small>(ER→ER)+(ER→ER)</small>
EN=UT	$\beta X \times A \times (3c_U+2c_D)$ <small>(ONU+OLT+ER)+(OLT+ONU)</small>	$\gamma X \times A \times (3c_U+2c_D)$ <small>(ONU+OLT+ER)+(OLT+ONU)</small>
合計	$\beta X \times A \times (6c_U+8c_D)$ [W] + $\gamma X \times A \times (9c_U+9c_D)$ [W]	

電力効率の良いサーバを 100W/Gbps (A=100) と仮定する。消費電力総量は α_1 、 α_2 、 α_3 、 β 、 γ の値に依存する。例えば、前述の前提条件に記した通りに $\alpha_1=0.03$ 、 $\alpha_2=0.02$ 、 $\alpha_3=0.01$ 、 $\beta=0.24$ 、 $\gamma=0.70$ と設定した場合、ネットワーク全体の消費電力総量は、

$$0.03XA*(4c_U+4c_D)+0.02XA*(4c_U+5c_D)+0.01XA*(4c_U+10c_D)+0.24XA*(6c_U+8c_D)+0.70XA*(9c_U+9c_D) \\ =XA*(7.98c_U+8.54c_D)$$

となり、前述の前提条件で仮定した各パラメータ値および A=100 を代入すると、43.3[MW]が導出される。

一方、 $\alpha_1=0$ 、 $\alpha_2=0$ 、 $\alpha_3=0.06$ 、 $\beta=0.24$ 、 $\gamma=0.70$ とした場合、すなわち、受信端末が自身が属するメトロネットワークのエッジノードから情報を取得しなかった場合のネットワーク全体の消費電力総量は、

$$0.06XA*(4c_U+10c_D)+0.24XA*(6c_U+8c_D)+0.70XA*(9c_U+9c_D) = XA*(7.98c_U+8.82c_D)$$

となり、44.2[MW]が導出される。これにより、エッジノードからデータ取得する場合、 $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ の方が、ネットワーク全体の消費電力総量をわずかに低減できることが分かる。すなわち、エッジノードに蓄積される情報は、なるべく同じエッジノード内で送受信し、他の情報も、なるべくコアを経由しない方が、消費電力総量を抑えられる。

表 3 の式からも容易に想像できる通り、エッジノード（やコアノード）のキャッシュのヒット率が相対的に大きくなる程、エッジノード（やコアノード）にキャッシュ及びストレージを置くことによる省電力効果を得られる。極端な例で、すべてドメイン外部のストレージにアクセスする場合、すなわち、 $\alpha_1=0$ 、 $\alpha_2=0$ 、 $\alpha_3=0$ 、 $\beta=0$ 、 $\gamma=1$ の場合、ネットワーク全体の消費電力総量は $XA*(9c_U+9c_D)=46.8$ [MW]となる。従って、ライブ情報流通ネットワークにより、エッジノードやコアノード等、必要なところにキャッシュ及びストレージを置いた方が、結果的にネットワーク全体の消費電力総量は抑えられる。一方、すべてケース 1 のみの通信 ($\alpha_1=1$ 、 $\alpha_2=0$ 、 $\alpha_3=0$ 、 $\beta=0$ 、 $\gamma=0$) の場合、すなわち、地産地消が完全に進んだ場合、 $XA*(4c_U+4c_D)=20.8$ [MW]となる。すなわち、本条件において、地産地消によるデータアップロード/ダウンロード ($\alpha_1=1$) はその対極であるデータセンタによるアップロード/ダウンロード ($\gamma=1$) に対し 55%程度の電力削減効果がある。後述のストレージサイズ見積り (図 25) で示す $\alpha_1=0.50$ 、 $\beta=0.24$ 、 $\gamma=0.26$ とした場合 (半分程度が地産地消される場合)、ネットワーク全体の消費電力総量は 31.6[MW]で、電力削減効果は 33%程度となる。

表 4 に参考として各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力総量を示す。表からわかるように、サーバ・ストレージの消費電力は配置にかかわらず一定である一方、通信機器の消費電力が大きく異なり、消費者の周辺に情報を配置するほど、通信機器の電力削減効果が大きくなる。さらに、消費電力という運用コストのみならず、消費者がデータアクセスにかかる時間が短縮されるというユーザへのサービスに対する効果があ

る。

表 4. 各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力量の見積もり

	ケース1のみ の場合($\alpha_1=1$)	ケース2のみ の場合($\alpha_2=1$)	ケース3のみ の場合($\alpha_3=1$)	ケース4のみ の場合($\beta=1$)	ケース5のみ の場合($\gamma=1$)
サーバ・ストレージ系	5.2MW	5.2MW	5.2MW	5.2MW	5.2MW
コア・外部系	0MW	0MW	9.6MW	11.6MW	20.8MW
メトロ系	5.2MW	8.4MW	14.8MW	10.4MW	10.4MW
アクセス系	10.4MW	10.4MW	10.4MW	10.4MW	10.4MW
合計値	20.8MW	24.0MW	40.0MW	37.6MW	46.8MW

上記の見積もりでは、全てのコンポーネントで $A=100$ と仮定したが、実際は、全てのコンポーネントの消費電力が等しいとは限らない。現状、消費電力の極めて大きいコンポーネント（例えばアクセス網の ONU[40]）も存在するので、今後、機器の省エネ化を図るとより一層の電力削減効果が現れる。

また、送受信端末が移動する場合、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ の値が頻繁に時間変動する可能性が高いことから、今後、 $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ の関係をなるべく維持できるようなネットワーク構成と情報流通機構が求められる。さらに、ケース3とケース4は、例えば $\alpha_3 \geq \beta$ の場合、ケース3の方が消費電力を高くしてしまう。従って、 α_3 をなるべく小さい値に保つことができる、すなわち、エッジノードからのデータ取得において、別のメトロ網に行くことをなるべく避けることができるネットワーク構成と情報流通機構も求められる。

ノードストレージ容量

頻繁にアクセスのある情報ほど、消費者（受信端末）に近いノードに蓄積されると仮定する。上記では、各々のエッジノードに蓄積される情報内容は互いに異なるとし、さらに、蓄積される情報数も各々のエッジノードで一様ではないとする（コアノードも同様）。しかしながら、本計算では、ネットワーク全体のエッジノードに蓄積される情報の全てを、1エッジノードで蓄積できるという仮定を置くことにより、ノードあたりのストレージ容量の最大要求値を導出する。コアノードのストレージ容量の最大要求値も同様に導出する。

ノードストレージ容量は、「情報サイズ」×「ノードストレージに蓄積される情報数」で導出できる。情報サイズに関しては、データを常時アップロード発信し、1日(86,400秒)キャッシュにヒットさせ、ストレージに情報を蓄積すると仮定する。その場合、 $c_0=20\text{Kbps}$ として情報サイズは 216MB となる。次に、各ノードストレージに蓄積される情報数を見積もる。1日あたりの全情報アクセス数(情報の重複あり)を C [アクセス/日] とする。文献[41]によると、各コンテンツに対するアクセス数は、Zipf 則に似た Zipf-like 分布に従う、という結果が議論されていることから、本計算において、Zipf-like 分布を使う。Zipf-like 分布は下記のように表される。

$$f(k) = \left\{ \frac{(1/k)^P}{S} \right\}$$

* $k=1, 2, \dots, K_N$

* $0 < P \leq 1$ ($P=1$ の時、Zipf則)

* $S=(1/K_N)^P$ ($\rightarrow K_N$ 番目のコンテンツのアクセス数 $f(K_N)=1$ になるように正規化)

全コンテンツ（本稿では情報）数を、 K_N とする。図 24 に、コンテンツに対するアクセス数のグラフを示す。グラフで示されているように、横軸の $1 \sim K_1$ のコンテンツのアクセス数の合計が、エッジノードキャッシュのヒット率 $\alpha (= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$ となる。 $(K_1 + 1) \sim K_2$ のコンテンツのアクセス数の合計が、コアノードキャッシュのヒット率 β となる。 $(K_2 + 1) \sim K_N$ のコンテンツのアクセス数の合計が、ドメイン外部のヒット率（エッジにもコアにもヒットしない率） γ となる。

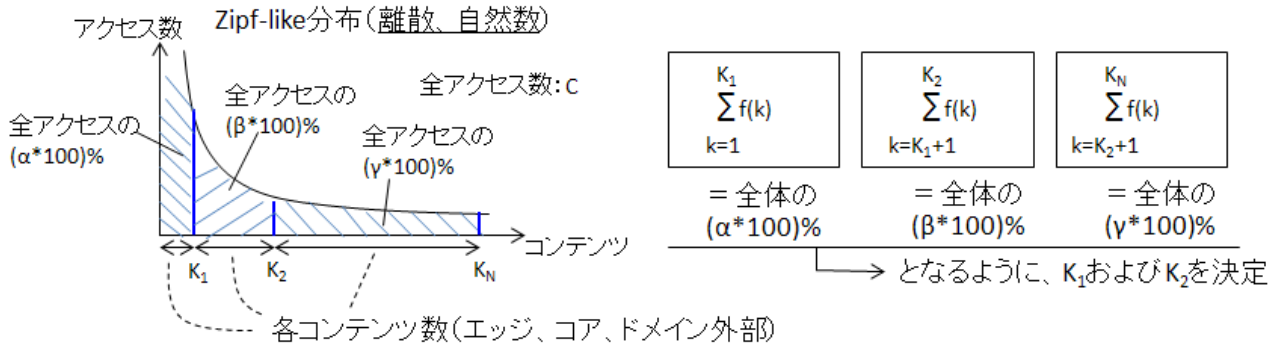


図 24. コンテンツに対するアクセス数

本数値計算において、受信端末あたり 1 日に平均 20 情報にアクセスすると仮定すると、一日あたり $C=10$ 億 $\times 20 = 200$ 億アクセスとなる。また、本計算では、 $P=0.8$ と設定する。前述の前提条件で記した通り $\alpha=0.06$, $\beta=0.24$, $\gamma=0.70$ と設定すると、上記のグラフの斜線の面積が約 200 億となるのは $K_N=45$ 億である。その上で、数値計算したところ、 $K_1=5, 193$, $K_2=8, 194, 158$ という結果が得られた。すなわち、各ノードストレージに蓄積される情報数は、エッジノードが 5, 193、コアノードが 8, 194, 158、ドメイン外部のストレージが 45 億となる。以上のことから、ノードあたりのストレージ容量（最大要求量）は、エッジノードが 1.122TB、コアノードが 1.77PB、ドメイン外部のストレージが 972PB となる。

図 25 に、エッジノードのヒット率 (α) に対するノードストレージ容量（最大要求量）を示す。ここで、 $\beta=0.24$ は固定とし、 $\gamma=1-\alpha-\beta$ とする。縦軸は、対数メモリである。前述の消費電力総量の見積もり時に説明した通り、 α が、 β および γ と比較して大きい方が、ドメイン外部のストレージから配布する時の消費電力が減少することにより、ネットワーク全体の消費電力を低減できる。しかしながら、図 25 から分かるように、エッジノードとコアノードに要求されるストレージ容量が増加してしまう。エッジノードストレージ容量に関しては、 $\alpha=0.06$ で 1TB を超え、 $\alpha=0.10$ で 10TB を超える。コアノードストレージ容量に関しては、 $\alpha=0.03$ で 1PB を超え、 $\alpha=0.19$ で 10PB を超える。これらのストレージ容量を持つストレージやノード装置をリーズナブルに作ることで市場参入をしやすくなると考えられる。

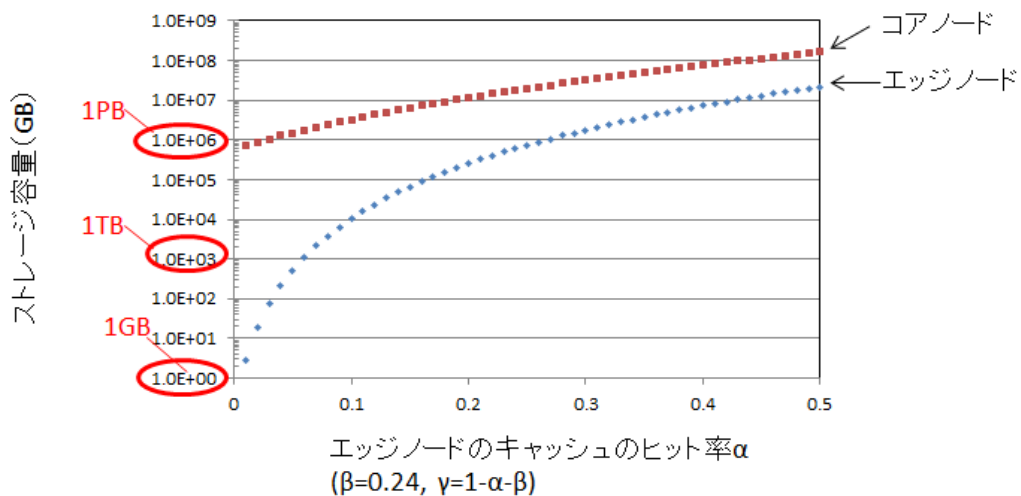


図 25. エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量（移動端末の場合）

7.2 固定端末の場合の数値計算（ダウンロードのみ）

本数値計算では、送受信端末が固定の場合のトラフィック総量、消費電力総量、ノードストレージ容量を見積もる。固定端末には、固定センサや防犯カメラといった M2M 固定端末と、FTTH (Fiber-to-the-Home) や FWA (Fixed Wireless Access) による通信を行う個人 PC 等の固定端末、の 2 種類に分類できるが、本計算では、後者のみを対象とする。

移動端末の場合の数値計算と異なる点は、アップロードでは、送信端末から常時データが発信されていると限らない点である。そこで、本数値計算では、過去にネット上に蓄積されたデータを受信端末が取得する場合（ダウンロード）のみを計算の対象とする。また、アップロードの際に、情報を一旦ドメイン外部（例えばデータセンタ）のストレージに蓄積し、情報の人気度に応じて、一部情報を、ドメイン外部のストレージからエッジノードもしくはコアノードにコピーするものとし、そのコピーもダウンロードに含めるものとする。但し、二重アップロード（例：一回エッジに置いたものをコアへ置き、一回コアにあったものをエッジに置く等）が生じないように設計する。図 26 に、固定端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフローを示す。移動端末とはモデルが異なり、端末が最も近傍のエッジノードからデータ取得するケース（ケース 1）、コアノードからデータ取得するケース（ケース 4）、ドメイン外部のストレージからデータ取得するケース（ケース 5）の 3 つのケースが存在する。

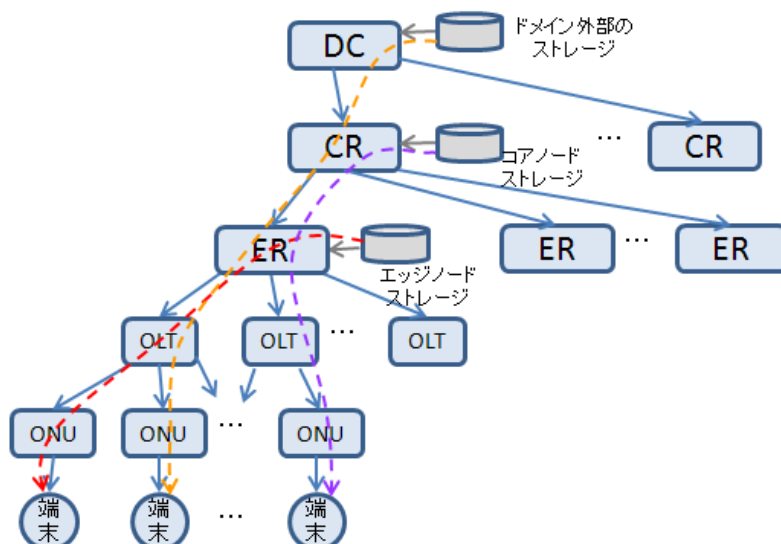


図 26. 固定端末(ダウンロード)の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー

各種計算のための前提条件

2011 年 6 月時点でのブロードバンド加入者が 3552.9 万人に達していることから固定端末数 $X=4000$ 万とする。移動端末の場合の数値計算時と同様、エッジノード数 $N=2,904$ 、コアノード数 $M=100$ とする。すなわち、ER あたりの固定系加入者数は 13,774 (平均) となる。送信固定端末からストレージにアップロードされる映像の品質が今の YouTube 並みと想定し、情報のビットレート $c=8\text{Mbps}$ とする。全てのダウンロード伝送の中で、図 23 のケース 1、4、5 の発生確率（ノードキャッシュのヒット率）は、移動端末の場合の数値計算時と同様、以下とする。

- ・エッジノードキャッシュのヒット率 $\alpha=0.06$
- ・コアノードキャッシュのヒット率 $\beta=0.24$
- ・ドメイン外部のヒット率（=エッジでもコアでもヒットしない率） $\gamma=0.70$

また、今回、トラフィック総量および消費電力総量を見積もるにあたり、全端末がフルで同時に通信すると仮定することで、それらの最大値「最大瞬間風速」を見積もる。

トラフィック総量（ダウンロードのみ）

ドメイン外部=CN 間（ドメイン外部（例えばデータセンタ）とコアネットワークの間）、CN=CN 間（ドメイン外部のストレージの最近傍コアノードとメトロネットワークの最近傍コアノードの間）、CN=EN 間（コアネットワー

クとメトロネットワークの間)、EN=EN 間(同じメトロネットワーク内のコアノードの最近傍エッジノードとエンド端末の最近傍エッジノードとの間)、エッジノードとエンド端末間の、5種類の通信エリアに分類できる。

ケース1については、ER=UT 間が($\alpha c_0 X$)のトラヒック量となり、その他の通信エリアが($\alpha c_0 N$)となる。ケース4では、ER=UT 間、EN=EN 間、CN=EN 間が、各々($\beta c_0 X$)のトラヒック量となり、CN=CN 間とドメイン外部=コアノード間については($\beta c_0 M$)となる。ケース5では、すべての通信エリアにおいて($\gamma c_0 X$)のトラヒック量となる。

表5に、各ケースにおける、トラヒック総量の見積もり値を示す。各通信エリアにおいて、ケース1、4、5のトラヒック量の合計値が、トラヒック総量となる。

表 5. トラヒック総量の見積もり

	ケース1(エッジから取得)	ケース4(コアから取得)	ケース5(ドメイン外部から取得)
ドメイン外部=CN	1.39Gbps	192Mbps	224Tbps
CN=CN	1.39Gbps	192Mbps	224Tbps
CN=EN	1.39Gbps	76.8Tbps	224Tbps
EN=EN	1.39Gbps	76.8Tbps	224Tbps
EN=UT	19.2Tbps	76.8Tbps	224Tbps

表から、 α 、 β 、 γ の値を前述の前提条件に記した値に設定した場合、ケース1が、ケース4、5の場合と比較して、各通信エリアにおける負荷が低い。これは、 α の値が、 β 、 γ の値よりもかなり小さいことによる。ケース1では、トラヒックが低い値(Gbpsクラス)となる通信エリアが多いので、 β や γ の値を減らした方が、すなわち、なるべくエッジノード経由で情報を送受信した方が、結果的に、各通信エリアにおけるトラヒック総量(ケース1、4、5のトラヒック量の合計値)は減る。また、ドメイン外部=CN間とCN=CN間のトラヒックは、ケース1の方がケース4よりも多いが、必要帯域が全CN=CNの和で1.39Gbpsであり設備投資は難しくないと予想されるため、問題はない。

前述のように、情報の人気度に応じて、一部情報を、ドメイン外部のストレージからエッジノードもしくはコアノードにコピーするものと仮定しているが、表5における、ケース1のドメイン外部~EN間(1.39Gbps)、ケース4のドメイン外部~CN間(192Mbps)が、そのトラヒックに該当する。コピーデータをエッジノードもしくはコアノードに移動させる方法としては、例えば、全エッジノードもしくは全コアノードのロケーションIDをベースとして、マルチキャストルーティングプロトコルを用いて、情報データを送る方法が考えられる。

表5から、各通信エリアのトラヒック総量(ケース1、4、5の合計値)は、EN=UT間が320Tbps、EN=EN間が300.8Tbps、CN=EN間が300.8Tbps、CN=CN間が224Tbps、ドメイン外部=コアノード間が224Tbpsとなる。EN=UT間に関しては、 $c_0=8\text{Mbps}$ となる。前述の通り、エッジノード1つあたりの移動体端末数を13,774(平均)と仮定しているため、エッジノード1つのカバーエリアにおけるトラヒック量は110.19Gbpsとなる。EN=EN間通信に関しては、前述の通り、メトロネットワーク数を363と仮定しているため、トラヒック総量が各メトロネットワーク同士で等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量は $300.8\text{Tbps}/363=828.65\text{Gbps}$ となる。CN=EN間通信に関しては、EN=EN間と同様の仮定を置くと、リンクあたりのトラヒック量の最大値は $300.8\text{Tbps}/363=828.65\text{Gbps}$ となる。CN=CN間通信に関しては、コアネットワークをメッシュトポロジと想定しているが、ネットワーク内のリンク数をLとし、トラヒック総量がリンク同士で等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量の最大値は、 $224\text{Tbps}/L$ となる。例えば、Lの値を、コアノード数 $N=100$ と同数とすると、 2.24Tbps となる。ドメイン外部=コアノード間通信に関しては、ドメイン外部(データセンタ)のストレージの数をDとし、トラヒック総量がリンク同士で等しいと仮定すると、リンクあたりのトラヒック量の最大値は、 $224\text{Tbps}/D$ となる。例えば、 $D=10$ とした場合、 22.4Tbps となる。

本条件において、エッジからのデータダウンロードは、その対極であるデータセンタからのダウンロードに対し、ドメイン外部~ENまでのトラヒック量を、大幅に削減できる。表6に参考として各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアにおけるトラヒック総量を示す。

表 6. 各ケースのデータ流通のみがあった場合の各通信エリアのトラフィック総量の見積もり

	ケース1のみ の場合($\alpha=1$)	ケース4のみ の場合($\beta=1$)	ケース5のみ の場合($\gamma=1$)
ドメイン外部=CN	23.2Gbps	800Mbps	320Tbps
CN=CN	23.2Gbps	800Mbps	320Tbps
CN=EN	23.2Gbps	320Tbps	320Tbps
EN=EN	23.2Gbps	320Tbps	320Tbps
EN=UT	320Tbps	320Tbps	320Tbps

消費電力総量

本計算では、ダウンロードの際に経路するコンポーネント（ルータ、ストレージ、OLT、ONU）の数を明確化する目的で、各コンポーネントの消費電力を、すべて A [W/Gbps] で等しいと仮定する。また、移動端末の場合の数値評価と同様、コアネットワーク内では、平均 4 ホップ（CN を平均 3 台経由する）と仮定する[39]。表 7 に、各ケースにおける、消費電力の見積もり値を示す。通信エリアは、トラフィック総量の見積もり時と同様、3 種類に分類される。ネットワーク全体の消費電力総量は、全通信エリアの全ケースの消費電力の合計値となる。

表中各項目において、“ αN 、 αX 、 βM 、 βX 、 γX ” を除いたものがアクセスあたりの消費電力であり、 c_0 の係数がダウンロードの際に経路するコンポーネント（ルータ、ストレージ、OLT、ONU 等）の数である。

表 7. 消費電力総量の見積もり

	ケース1(エッジから取得)	ケース4(コアから取得)	ケース5(ドメイン外部から取得)
ドメイン外部=CN	$\alpha N \times A \times (3c_0)$ <small>ストレージ+外部+外部→CR</small>	$\beta M \times A \times (3c_0)$ <small>ストレージ+外部+外部→CR</small>	$\gamma X \times A \times (3c_0)$ <small>ストレージ+外部+外部→CR</small>
CN=CN	$\alpha N \times A \times (2c_0)$ <small>2×(CR→CR)</small>	$\beta M \times A \times (3c_0)$ <small>2×(CR→CR)+ストレージ</small>	$\gamma X \times A \times (2c_0)$ <small>2×(CR→CR)</small>
CN=EN	$\alpha N \times A \times (c_0)$ <small>(CR→ER)</small>	$\beta X \times A \times (3c_0)$ <small>ストレージ+CR+(CR→ER)</small>	$\gamma X \times A \times (c_0)$ <small>(CR→ER)</small>
EN=EN	$\alpha N \times A \times (2c_0)$ <small>(ER→ER)+ストレージ</small>	$\beta X \times A \times (c_0)$ <small>(ER→ER)</small>	$\gamma X \times A \times (c_0)$ <small>(ER→ER)</small>
EN=UT	$\alpha X \times A \times (4c_0)$ <small>ストレージ+ER+OLT+ONU</small>	$\beta X \times A \times (2c_0)$ <small>(OLT+ONU)</small>	$\gamma X \times A \times (2c_0)$ <small>(OLT+ONU)</small>
合計	$A \times (\alpha N \times (8c_0) + \alpha X \times (4c_0))$ [W] + $A \times (\beta M \times (6c_0) + \beta X \times (6c_0))$ [W] + $\gamma X \times A \times (9c_0)$ [W]		

本計算において、移動端末の場合の数値計算例と同様、 $A=100$ と仮定する。消費電力総量は、 α 、 β 、 γ の値に依存する。例えば、前述の前提条件で記した通り $\alpha=0.06$ 、 $\beta=0.24$ 、 $\gamma=0.70$ と設定した場合、ネットワーク全体の消費電力総量は、前提条件で仮定した各パラメータ値を代入すると、251.52 [MW] が導出される。極端な例で、仮に、すべてドメイン外部のストレージからデータ取得する ($\alpha=0$ 、 $\beta=0$ 、 $\gamma=1$) の場合、ネットワーク全体の消費電力総量は 288.0 [MW] となる。すべてエッジノードからデータ取得する ($\alpha=1$ 、 $\beta=0$ 、 $\gamma=0$) の場合、128.0 [MW] となる。すなわち、人気情報はなるべくエッジノードに蓄積し、端末から、コアを経由せずにエッジノードから直接ダウンロードした方が、ネットワーク全体の消費電力総量を抑えられる。従って、ライブ情報流通ネットワークにより、エッジノードやコアノード等、必要なところにキャッシュ及びストレージを置いた方が、ネットワーク全体の省エネ化に繋がる。表 8 に参考として各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力総量を示す。本条件において、エッジからのデータダウンロード ($\alpha=1$) は、その対極であるデータセンタからのダウンロード ($\gamma=1$) に対し 55% 程度の電力削減効果がある。移動端末へのダウンロード同様に固定端末へのダウンロードにおいても、消費者の周辺に情報を配置するほど、大きな通信機器の電力削減効果を得ながらユーザへのデータ提供時間短縮を図れることが伺える。半分程度が地産地消される場合に相当する、後述のストレージサイズ見積り (図 27) で示す $\alpha=0.50$ 、 $\beta=0.24$ 、 $\gamma=0.26$ とした場合、ネットワーク全体の消費電力総量は 153.0 [MW] で、電力削減効果は 47% 程度となる。

表 8. 各ケースのデータ流通のみがあった場合の消費電力量の見積もり

	ケース1のみ の場合($\alpha_1=1$)	ケース4のみ の場合($\beta=1$)	ケース5のみ の場合($\gamma=1$)
サーバ・ストレージ系	32.0MW	32.0MW	32.0MW
コア・外部系	9.3KW	32.0MW	128.0MW
メトロ系	32.0MW	64.0MW	64.0MW
アクセス系	64.0MW	64.0MW	64.0MW
合計値	128.0MW	192.0MW	288.0MW

*小数点以下2桁を四捨五入

ノードストレージ容量

頻繁にアクセスのある情報ほど、端末に近いノードに蓄積されると仮定する。ノードあたりのストレージ容量は、「情報サイズ」×「ノードストレージに蓄積される情報数」で導出できる。情報サイズは、YouTube を参考に長さ 15 分 29 秒までの動画ファイル(8Mbps)をアップロード/投稿できるものと仮定すると、1GB となる。次に、各ノードに蓄積される情報数を見積もる。1日あたりの全情報アクセス数(情報の重複あり)を C [アクセス/日]とする。移動端末の計算モデルと同様、各情報に対するアクセス数は、移動端末の場合の数値計算時と同様、Zipf-like 分布[41]に従うと仮定する。情報1つあたりの時間を15分と仮定し、1人あたり1日平均2時間アクセスするものと仮定する。すなわち、1人あたり1日に平均8情報にアクセスすることになり、 $C=4,000$ 万*8=3.2億アクセス/日と仮定する。前述の前提条件で記した通り $\alpha=0.06$, $\beta=0.24$, $\gamma=0.70$ と設定し、且つ $P=0.8$ と仮定した場合、図 24 のグラフの斜線の面積が約 3.2 億となるのは、 $K_N=7,200$ 万である。その上で、数値計算したところ、 $K_1=202$, $K_2=154,384$ という結果が得られた。すなわち、各ノードに蓄積される情報数は、エッジノードが 202、コアノードが 154,384、ドメイン外部のストレージが 7,200 万となる。以上のことから、ノードあたりのストレージ容量(最大要求量)は、エッジノードが 202GB、コアノードが 154.384TB、ドメイン外部のストレージが 72PB となる。

図 27 に、エッジノードのヒット率(α)に対するノードストレージ容量(最大要求量)を示す。ここで、 $\beta=0.24$ は固定とし、 $\gamma=1-\alpha-\beta$ とする。縦軸は、対数メモリである。前述の消費電力総量の見積もり時に説明した通り、 α が、 β および γ と比較して大きい方が、ドメイン外部のストレージから配布する時の消費電力が減少することにより、ネットワーク全体の消費電力総量を低減できる。しかしながら、図 27 から分かるように、エッジノードとコアノードに要求されるストレージ容量が増加してしまう。エッジノードストレージ容量に関しては、 $\alpha=0.10$ で 1TB を超え、 $\alpha=0.17$ で 10TB を超える。コアノードストレージ容量に関しては、 $\alpha=0.04$ で 100TB を超え、 $\alpha=0.21$ で 1PB を超え、 $\alpha=0.48$ で 10PB を超える。

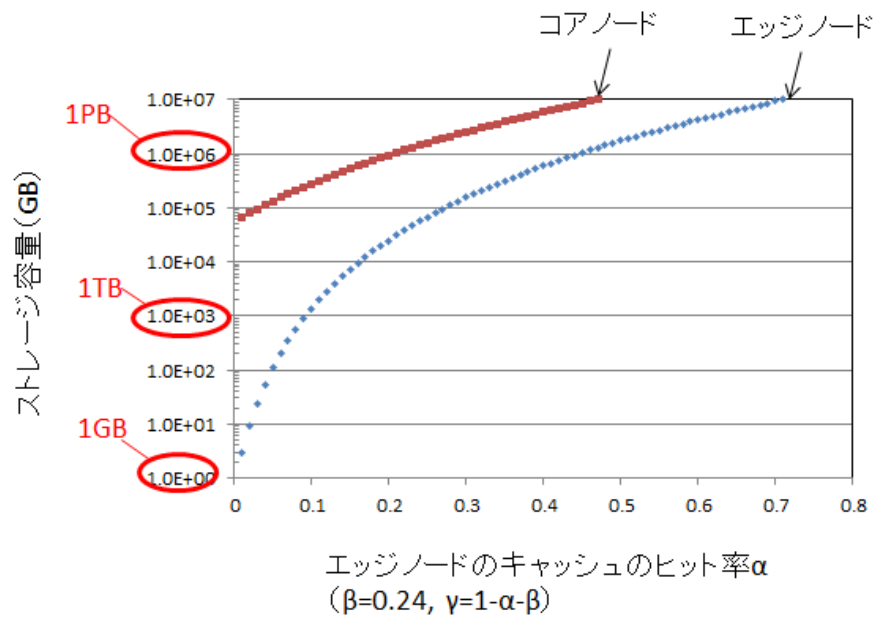


図 27. エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量 (固定端末の場合)

8 海外の動向

- **CCN/NDN (Content-Centric Networking/Named Data Networking)**

CCNはコンテンツの名前 (ID) に基づいて通信を行うネットワークアーキテクチャ[8]で、以下の特徴を有する。位置依存型アドレス (IP アドレス) ではなく、コンテンツの名前 (ID) を用いて通信する。端末は通信相手の位置を意識する必要がない。ID には URL に相当する人間が読める ID とバイナリ符号型がある。中継ノードがコンテンツを保持 (キャッシュ) してリレーすることで、端末間のエンドツーエンドの通信が不要となる。端末間の通信路を認証・暗号化 (IPSec、SSL など) するのではなく、コンテンツ自体を暗号化し、中継ノードではコンテンツ自身を認証する。ID を公開鍵として利用する。データ転送は上流に対して Interest パケットを送り、下流に Data パケットを返信する形である。Interest パケットは ID の最長プリフィクス一致検索により転送される。キャッシュの情報は LRU や LFU 等の処理規律により、削除されるまでは情報を保持する。

NDN[10]は CCN をベースにした米国 NSF における Future Internet Architecture (FIA) プロジェクトの一つである。
- **Mobility First**

MobilityFirst [11]は米国 NSF における Future Internet Architecture (FIA) プロジェクトの一つで、ラトガース大学ら 9 つの大学から構成される。2010 年 9 月に開始された。100 億の機器やコンテンツ、ユーザがネットワークに接続されているネットワークを移動通信中心の設計へ移行することを目指している。無線通信のチャネル信号劣化に対するロバスト性やネットワーク自体のモビリティをサポートする設計を行なっている。また、強力なセキュリティとプライバシーを提供するためにネットワークアーキテクチャ自体にその機能を含める。また、ネットワークへの攻撃に耐性を備える。

コンテンツ流通に関しては、名前とアドレスを分離して扱う形態をとる。そのために GUID (Globally Unique Flat Identifier) を導入し、GUID とネットワークアドレスをマッピングする機能を導入する。実現のためにはフラットかつグローバルな名前空間を物理的に分散したサーバ群を用い、Late Binding という手法を用いて分散ハッシュテーブルによる ID・ローケータマッピングを行う。マッピング情報同期のためにオブジェクト更新時に毎回近隣ノードへの広告を行なっている。セキュリティに関しては上述の GUID を公開鍵として利用し、分散型のトラスト機構を構築する。円滑な情報配信のために、ストレージのサイズやリンク品質にあわせた経路制御を行う。
- **IoT-A (Internet of Things Architecture)**

IoT-A [42]は欧州 FP7 プロジェクトのフラッグシッププロジェクトであり、将来の IoT のための連携可能なアーキテクチャ参照モデル策定を目的としている。IoT-A プロジェクトの目的は、IoT システムの相互接続性の確保のために、アーキテクチャ参照モデルを提供することであり、“things”とは、実世界における Sensor、Actuator 機能を持った Machine のことであり、それらが相互に情報を交換し、インタラクション可能なアーキテクチャを提供する。また、性質の異なる複数のエンティティを対象とし、社会とビジネスに関連したアーキテクチャのリファレンスモデルを開発することを目的としている。そのため、開発者のノウハウに加えて、外部からのインプットによってアーキテクチャデザインを形成することを不可欠としている。外部からのインプットを得るために、IoT アーキテクチャの実現に関心のある個人、企業 (Stakeholder) に対してアンケートを実施しインプットを得て、結果を報告書としてとりまとめている。その他、要求条件文書、アーキテクチャ参照モデル文書などを公開している。今後は、得られた要件リストを広く配布し、アーキテクチャの参照モデル設計およびアーキテクチャの検証モデル開発に対するフィードバックを得る方針としている。
- **NetInf (Network of Information)**

NetInf[12]は欧州 FP7 のプロジェクト 4WARD にて提案されている ID/Locator 分離型のネットワークアーキテクチャである。NetInf では、ハイレベルなセマンティックを表す Information Object (IO) と、実際の情報のビット列を表す Data Object (DO) と、Locator を関連付ける。また NetInf では、ID を用いたルーティングを、階層化された複数の DHT (MDHT: Multiple DHT) を用い、モビリティの管理も行う。
- **CONET**

CONET は欧州 FP7 のプロジェクト CONVERGENCE[43]にて提案されている CCN をベースとしたネットワークアーキテクチャである。CONET では、CCN の長所であるキャッシュ機能を活かしつつ、CCN の短所である既存 IP ネットワークからの移行コストやスケーラビリティへの対策を行っている。CONET は IP の Option ヘッダや拡張ヘッダに CONET 独自の情報を入れ込むことで、IP ネットワークと CCN を融合する。また、経路情報の数に上限を与えてキャッシュすることで、経路テーブルが過大になるのを防ぐ。

- SENSEI (Integrating the Physical with the Digital World of the Network of the Future)
 SENSEI [44]は、2010年に完了した欧州FP7プロジェクトで、その成果としてのアーキテクチャは、白書「reference architecture to link the physical and the digital world in the network of the future」にまとめられた。SENSEIのシステムモデルでは、実世界のエンティティ（デバイス）を表現する”Resource”とそれを制御するソフトウェアコンポーネント”Resource End Point”を分離、さらに、それぞれを実装するホストを分離したアーキテクチャを採用する。これにより、実世界とのインタラクションの抽象化を実現するが、この抽象化には、デバイスの機能やネットワーク接続のために経由するゲートウェイの管理情報など、インタラクションを実現するための全情報を含んでいる。SENSEIフレームワークでは、Resource Directory (RD)により要件を満たすResourceのリストを特定し、Entity Directory (ED)によってEntityへの関連付けを実行する。また、SENSEIのアーキテクチャでは、Semantic Query Resolverを具備し、セマンティックレベルの記述を元に、RDとEDを経由したリソースの発見とアクセスを可能としている。情報モデルでは、センサが生成するローデータ、それを元にメタデータなどを付加したObservation and Measurement (O&M)、さらに付帯情報を追加したコンテキストデータの3層を規定し、柔軟な情報アクセス手段を実装している。情報の記述には、セマンティックへの応用を視野に入れ、Resource Description Format (RDF)を採用した。さらにSENSEIでは、サービスプラットフォームを構成する要素として、AAA機能、ID管理、プライバシー管理、アクチュエーションへの拡張機能、運用管理機能についての規定も取り込んだ。
- FLORENCE (Multi Purpose Mobile Robot for Ambient Assisted Living)
 FLORENCE [45]は、2010年に開始された欧州FP7プロジェクトで、IoT技術の利活用により、高齢者の生活品質の向上と健康維持に要する諸コストの削減を実証することを目的としている。プロジェクトでは、生体センサ、ホームオートメーション、センサを内蔵したロボットといった複数の技術を組み合わせて生活空間のデータ収集と処理を行い、アクチュエータとリッチコミュニケーションによりフィードバックするモデルについて、サービスプラットフォーム技術の研究が遂行されている。2011年1月に発行された中間報告書 [46] では、サービス要件の定義、サービスプラットフォームのアーキテクチャ概要などが報告されている。アーキテクチャは、ロボットをサービスに組み込むための要件とコンテキスト処理機能を中心に構築されている点に特徴がある。
- 4WARD/Vnet, SAIL/Clone
 4WARD [47] は、特定の物理層に依存しない将来ネットワークアーキテクチャを広く検討するEU FP7のプロジェクトであり2008-2009に実施された。4WARDのWP-3 (Working Package - 3) がVNetであり、ブレーメン大学やエリクソン等産学が連携して、仮想ネットワークアーキテクチャの研究開発が行われてきた。VNetでは、既存のインターネットの役割(role)であるISPとSP (Service Provider: GoogleやAmazonを想定)を見直して、InP/PIP ((Physical) Infrastructure Provider)、VNP (Virtual Network Provider)、VNO (Virtual Network Operator)、SP (Service Provider)、と呼ばれる4種類のrole (役割、単一Player (会社)の兼業可)を定義し、各roleから見た仮想化のメリットを提示している。既存ISPのroleがInP・VNP・VNOに分離されることで、各roleにおける経営資源の集中・選択が容易になり、また、他のroleとの連携選択肢が増すといったメリットが提示されている。なお、GENIではVNPに相当するClearing houseが単一であったが、VNetではビジネス観点から複数のVNPの存在を許容している。このように、4WARDでは、技術的観点だけでなくビジネス観点での検討も行われている点が特徴である。これらの活動は、4WARD/VNetの後継プロジェクトであるSAIL/Clone [48] (2010-2013実施予定)に引き継がれており、新たにコンピューティングの要素を取り込み、flash network sliceと呼ばれるネットワークとコンピューティングを統合した仮想資源の制御を目指している。

9 まとめ

新たなビジネスを展開する鍵は、消費者であるユーザの嗜好などの価値基準をいかに早く把握し、それをサービスに反映するかである。そのためには、日常から、ネットワーク上の情報を取得・分析し、それを価値ある情報に変え、ユーザの周辺に遍在させる仕組みを実現すること、また、新規サービス提供者がその仕組みを簡単に利用できるようにすることが必要である。モバイル端末からのトラフィック量は年率 90%増加し、2015 年の M2M 通信のトラフィック量は毎月 300 ペタバイトに達するという予測があり、新世代ネットワークはこれらの情報を流通させることで無限の価値を創造する可能性を秘めている。

本稿では、固定・移動を問わずユーザや遍在するデバイスから時々の状況に応じて発信される情報を必要に応じて処理しつつ、ネットワーク上に適切に配置し流通させる、情報の流通に適したネットワーク（ライブ情報流通ネットワーク）アーキテクチャ設計を提示した。これは、単なる情報収集や交換だけでなく、価値を付加してユーザに対して有益な情報を提供するまでの一連のプロセスを包含した情報流通ネットワークアーキテクチャである。ライブ情報流通ネットワークによって、ネットワーク自体や提供されるサービスの運用コストを削減しつつ、将来成長が期待される M2M やコンテンツ配信サービスなどによって新たな価値を生むプラットフォームとインフラを実現する。具体的には、ネットワークサービス事業者あたり 10 億のモバイル端末や 1000 億のセンサ・アクチュエータデバイスから送出されるライブ情報への効率的なアクセスを図り、端末や情報の移動通信制御の簡素化と、情報を保持するキャッシュ機能、ストレージ機能のネットワーク内への配置と効率的な配信、ネットワーク内における情報の合成等を通じて、情報流通およびエネルギー利用の効率化を図るものである。インフラ事業者にとっては、帯域や消費電力、運用等においてメリットを得つつ、コンテンツ配信サービスや M2M サービスなどのサービスプラットフォームも事業対象にできる可能性が生まれ、それと連動したインフラ整備を行うこととなる。

本稿では、これらの目標に向かって、新たなサービスを実現する、高付加価値プラットフォームとなるネットワークアーキテクチャを確立し、ステークホルダの明確化と競争原理を導入し、2020 年の価値流通ネットワークビジネスを創成するための要素技術を提示した。さらに、目標や要素技術を述べるに留まらず、ライブ情報流通ネットワーク具現化に向かい、情報の発生から情報消費者が受信するまでの情報流通の機能フレームワークについても言及した。今後は、要素技術の確立を期待しつつ、ネットワークの情報流通機能細分化に駒を進め、全体ネットワーク構築のための指針を固める。それらを通じてネットワーク構築を促進し、本稿で述べたように、2015 年の早期プロトタイプ実現と 2020 年のネットワークビジネス創成に向かう。すなわち、コンテンツ流通を例に早期プロトタイプを実現し、今までのネットワークで行われている既存のコンテンツ流通に対する優位性を明らかにするとともに、2020 年の情報流通を想定しこれに合致したビジネスモデルを構築する。

付録

- **CDN (Content Delivery Network)**
情報を予め格納しておき、情報配信要求があると、情報のロケーションを弾き、情報を要求元に伝達するサービスネットワーク。
- **CCN (Content Centric Network) / DCN (Data Centric Network)**
時々刻々と (dynamic に) 発生する情報に ID を付与してストレージに格納し、要求があると情報のロケーションを弾き、情報を要求元に伝達するサービスをするネットワーク。情報の宛先は最終的なユーザとは限らず、更にそれらの情報を加工し、新たな情報とすることもある。
- **検索サービス**
定期的に Web サーバにクローリングをかけて情報をあつめ、データベース化する。要求に対して、その情報リストを提示するサービス。ただし、最終解 (コンテンツ) は届かない。
- **コンテンツ**
消費者であるユーザにとって価値ある情報。生成者またはデータを元にしてネット内処理機能にて生成される。
- **データ**
生成者から生成された情報。センサによるセンシング情報や、消費者の考える価値と無関係に生成者が発信した情報など、解析を要したり単体では消費者にとって十分に価値があると言えなかったりするものはこれに相当する。
- **M2M (Machine-to-Machine) 通信**
Web アクセスなどが契機になって通信を始めるのではなく、センサとアクチュエータなど無人の機械と機械が通信する形態。
- **ライブ情報流通ネットワーク**
固定・移動を問わずユーザや遍在するデバイスから時々の状況に応じて発信される情報を必要に応じて処理しつつ、ネットワーク上に適切に配置し流通させる、情報流通ネットワーク
- **ID・ロケータ分離**
機器やコンテンツを識別するのに機器やコンテンツの ID とその位置 (場所や IP アドレス) とを分離し別々の識別子集合として管理すること。
- **ユーザ ID**
ネットワークにおいてユーザを識別するためにユーザに与えられるユニークな識別子。サービス時にユーザに対する検索、認証、認可、課金に用いられる。
- **データおよびコンテンツ ID**
ロケーションや保持者とは独立して、データやコンテンツを識別するためにそれらに与えられるユニークな識別子。情報中心のパラダイムに基づいたネットワークアーキテクチャを構成するのに、また、情報のノード処理やコンテンツ流通する際のセキュリティを高めるのに、あるいは、コンテンツを移動したりキャッシュして保持したりするのに有用である。
- **サービス ID**
コンテンツサービス ID とネットワークサービス ID に分割される。コンテンツサービス ID はアプリケーションサービスを規定し、サービスに関係する属性 (セキュリティ鍵、シーケンス番号、状態など) を関連づけするために用いられる。これは主にサーバやクライアントノードにてサービスを識別するのに主として用いられる。ネットワークサービス ID は、ネットワークのノードによるデータ転送サービスを規定するネットワーク仮想化における論理的に分割されたネットワーク (LINP) や、VLAN、データパケットを処理する特殊なプロトコル (フォワーディング、キューイング、QoS サポート) を指すことがある。
- **ノード ID**
物理デバイスあるいは論理デバイスを識別するために、その位置と独立して割当てられる。移動体のアクセス制御やノード間の信頼確立、あるいは、ノード間にすでに確立されたセッションを識別するために用いられる。
- **ロケーション ID**
ロケータとも呼ばれる。ネットワークの論理構造 (トポロジ) 上、位置を特定するためにデバイスやノードに与えられる。ノードの位置を特定するためにルーティング基盤上で用いられる。ロケータフォーマットは宛先ノードの位置を指したり、ネットワーク中で宛先ノードに向かってデータを転送したりするために用いられる。ネットワーク層プロトコルや経路制御プロトコルに依存する。

文献

- [1] Recommendation ITU-T Y.3001, "Future Networks: Objectives and Design Goals," 2011.
- [2] 鎌谷修, 清水敬司, 川村龍太郎, "価値に着目した新たな情報・知識流通の検討 ~価値最大化ネットワーク方式~, " 電子情報通信学会総合大会 (B-7-6), p. 82, September 2010.
- [3] 総務省, "平成 22 年度電気通信サービスに係る内外価格差に関する調査," June 14, 2011.
- [4] 総務省, "地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会報告書," April 2008.
- [5] Cisco White Paper, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015,"
http://newsroom.cisco.com/ekits/Cisco_VNI_Global_Mobile_Data_Traffic_Forecast_2010_2015.pdf,
February 2011.
- [6] Cisco White Paper, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2010-2015,"
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf
- [7] T. Koponen, M. Chawla, B-G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Schenker and I. Stoica, "A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture," Proc. ACM SIGCOMM 2007, Aug. 2007.
- [8] Van Jacobson, Diana K. Smetters, James D. Thornton, Michael F. Plass, Nicholas H. Briggs, and Rebecca L. Braynard "Networking Named Content," in Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies (CoNEXT '09), December 2009.
- [9] M. Gritter, D. R. Cheriton, "An Architecture for Content Routing Support in the Internet," USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, Mar. 2001.
- [10] <http://www.named-data.net/>
- [11] <http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu/>
- [12] <http://www.netinf.org/>
- [13] 松原大典, 藪崎仁史, 岡本聡, 山中直明, "高度に分散したモバイルデータ配信に向けたデータ指向型ネットワーク," 電子情報通信学会技術研究報告 (IA2011-82, IA2011-105), pp. 125-130, March 2012.
- [14] Mikko Särelä, Teemu Rinta-aho, and Sasu Tarkoma, "RTFM: Publish/Subscribe Internetworking Architecture," ICT-MobileSummit 2008 Conference Proceedings, June 2008.
- [15] Ved P. Kafle, Hideki Otsuki, and Masugi Inoue, "An ID/locator split architecture for future networks," Vol. 48, pp.138-144, IEEE Communications Magazine, February 2010.
- [16] Anders Lindgren, Avri Doria, Olov Schelén, "Probabilistic routing in intermittently connected networks", SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Volume 7 Issue 3, July 2003
- [17] E. J. Rosenweig and J. Kurose, "Breadcrumbs: efficient, best-effort content location in cache networks," in Proc. IEEE INFOCOM 2009, pp.2631-2635, Apr. 2009
- [18] 原井 洋明, "AKARI アーキテクチャ設計を基にした新世代ネットワークのためのネットワーク層技術の現状," 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2011-69, IN2011-65, GS2011-30), pp. 49-54, September 2011.
- [19] R. Stewart, Ed., "Stream Control Transmission Protocol," RFC4960, September 2007.
- [20] http://www.kddi.com/corporate/ir/individual/presentation/pdf/kddi_110322.pdf .
- [21] http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html .
- [22] http://www.morganstanley.com/institutional/techresearch/pdfs/Theme_6_Data_Growth.pdf .
- [23] BGP Routing Table Analysis Reports, <http://bgp.potaroo.net/>
- [24] J. Baliga, R. Ayre, K. Hinton, and R. S. Tucker, "Photonic Switching and the Energy Bottleneck," Proc in Photonics in Switching 2007 (WA3.5), pp. 125-126, August 2007.
- [25] E. Mannie (Ed.), "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture," RFC 3945, October 2004.
- [26] Naoya Wada and Hideaki Furukawa, "Photonic Network Technologies for New Generation Network," IEICE Transactions on Communications, Vol. E94-B, No. 4, pp. 868-875, April 2011.

- [27] M. Akhbarizadeh, M. Nourani, R. Panigrahy and S. Sharma, "A TCAM-Based Parallel Architecture for High-Speed Packet Forwarding," IEEE Transactions on Computers, vol. 56, no. 1, pp. 58-72, Jan. 2007.
- [28] K. Zaitzu, K. Yamamoto, Y. Kuroda, K. Inoue, S. Ata, and I. Oka, "Hardware implementation of fast forwarding engine using standard memory and dedicated circuit," in Proceeding of the 17th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS 2010), pp. 384-387, December 2010.
- [29] J. Abley, B. Black, V. Gill, "Goals for IPv6 Site-Multihoming Architectures," RFC 3582, August 2003.
- [30] Yang Song, Lixin Gao, and Kenji Fujikawa, "Resilient Routing under Hierarchical Automatic Addressing," IEEE Globecom 2011, December 2011.
- [31] D. Farinacci, V. Fuller, D. Meyer, and D. Lewis, "Locator/ID Separation Protocol (LISP)," IETF Internet Draft (draft-ietf-lisp-22) (work-in-progress), Feb 2012.
- [32] Masafumi Watari, Atsuo Tachibana, Shigehiro Ano, "Inferring the Origin of Routing Changes Based on Preferred Path Changes," In Proc. PAM 2011 pp. 163-172, 2011.
- [33] Atsuo Tachibana, Yuichiro Hei, Tomohiko Ogishi, Shigehiro Ano, "IP Performance Management System for ISPs," IEICE Transactions on Communications, Volume E93-B, Issue 4, pp. 928-937, 2010.
- [34] B. Claise (Ed.), "Cisco Systems NetFlow Services Export Version 9," RFC3954, October 2004.
- [35] 松尾 真一郎, "セキュリティ確保のための新たなアーキテクチャに向けた研究課題と、NICT における研究のアプローチ," NICT 情報通信セキュリティシンポジウム 2012, February 2012.
- [36] Draft Recommendation ITU-T Y.3031 (ex-Y.FNid), "Identification Framework in Future Networks - for Consent," February 2012.
- [37] Recommendation ITU-T Y.3011, "Framework of Network Virtualization for Future Networks," 2011.
- [38] M. Cha, H. Kwak, P. Rodriguez, Y. Ahn, S. Moon, "I Tube, You Tube, Everybody Tubes: Analyzing the World's Largest User Generated Content Video System," ICM '07 Proc. of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, pp.1-13, 2007.
- [39] Ryota Fukumoto, Shin'ichi Arakawa, Tetsuya Takine, and Masayuki Murata, "Analyzing and modeling router-level Internet topology," in Proceedings of The International Conference on Information Networking (ICOIN), January 2007.
- [40] U. Lee, et al, "Toward Energy-Efficient Content Dissemination," IEEE Network, Vol.25, Issue.2, pp.14-19, March-April 2011.
- [41] L. Breslau, et al, "Web Caching and Zipf-like Distributions: Evidence and Implications," INFOCOM, pp.126-134, March 1999.
- [42] <http://www.iot-a.eu/>
- [43] <http://www.ict-convergence.eu/>
- [44] <http://www.sensei-project.eu/>
- [45] <http://www.florence-project.eu/>
- [46] Florence Project Periodic Report,
http://ec.europa.eu/information_society/apps/projects/logos/0/248730/080/deliverables/001_FlorencePPR1M1M12V11.pdf, Jan 2011.
- [47] <http://www.4ward-project.eu/>
- [48] <http://www.sail-project.eu/>