

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 1.1 (2013.9.1)

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る、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出送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出送ら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。

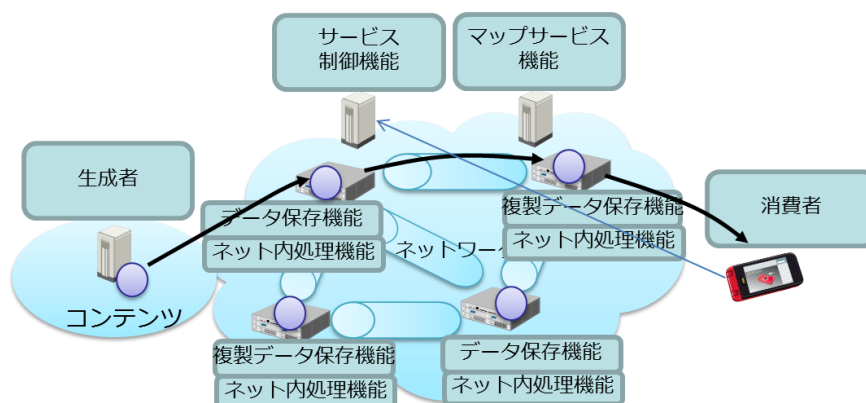
本稿で目指す情報流通ネットワークにおいては、情報をネットワーク上に適切に配置し、適切なサービスを介して情報をユーザに提供することによって、従来に比して短時間でコンテンツを配信するサービスを提供するという時間メリットを有する。もちろん、それだけではない。ユーザとサービスとのインタフェースのありかたを根本的に変え、ユーザが意図的に交換相手を指定することなく必要なコンテンツを得るサービスをネットワーク上で展開することが可能になり、その結果、ユーザ自ら検索サービスを介して直近のコンテンツを探すことが不要になる。また、コンテンツを分散配置し、ユーザの現時点での環境に適したコンテンツ変換処理を施すことによって、サーバボトルネックを回避しつつ、ユーザセンタ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）
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）
朝枝仁（情報通信研究機構）
鎌谷修（NTT 未来ねっと研究所）
川村龍太郎（NTT 未来ねっと研究所）
長谷川輝之（KDDI 研究所）
田上敦士（KDDI 研究所）
松原大典（日立製作所）
塩尻浩久（NEC）
柳生智彦（NEC）
村田正幸（大阪大学・情報通信研究機構）

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 A	ライブ情報流通ネットワークのユースケース	45
A.1.	物流	48
A.1.1	スマート物流	48
A.1.2	食品販促	51
A.1.3	街中ショッピング	54
A.1.4	服飾	56
A.2.	エネルギー流通	58
A.2.1	電気自動車の給電及びスマートエネルギー	58
A.3.	コンテンツ流通	61
A.3.1	ライブコンテンツ配信	61
A.3.2	デジタルサイネージ	64
A.3.3	AR (Augmented Reality)	66
A.3.4	大人数参加型オンラインロールプレイングゲーム	68
A.4.	安全・安心・豊かな暮らし	71
A.4.1	交通情報システム	71
A.4.2	旅行	74
A.4.3	仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定および追跡システム	77
A.1.5	複合要素としてのライブ情報流通ネットワーク	79
付録 B	80	
文献	81	

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
図 28. ライブ情報流通ネットワークが拡大する ICT サービス領域	45
図 29. スマート物流全体構成	48
図 30. スマート物流におけるトラヒック量見積	50
図 31. スマート物流トラヒック量推定における前提条件	50
図 32. 食品販促全体構成	51
図 33. 食品販促におけるネットワークモデル	53
図 34. 街中ショッピング全体構成	54
図 35. 服飾全体構成	56
図 36. スマートエネルギー全体構成	58
図 37. ライブコンテンツ配信全体構成	61
図 38. ライブコンテンツ配信におけるトラヒック量見積	63
図 39. ライブコンテンツ配信トラヒック量推定における前提条件	63
図 40. デジタルサイネージ全体構成	64
図 41. Augmented Reality 全体構成	66
図 42. オンラインゲーム全体構成	68
図 43. 交通情報システム全体構成	71
図 44. 旅行情報流通全体構成	74
図 45. 仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定および追跡システムの全体構成	77
図 46. 交通情報システムとスマート物流のプラットフォーム共通化	79

表目次

表 1. トラヒ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ヒ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. トラヒ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ヒ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
表 9. 検討したユースケースと市場規模	46

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る。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序列に基づいて、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。

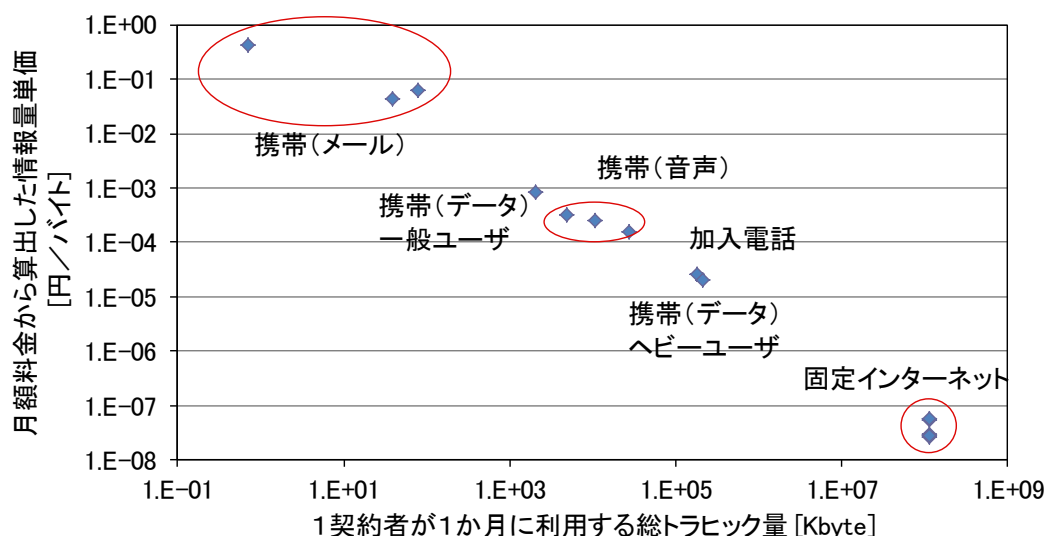


図1. 情報量単価とネットワークサービスにおけるトラフィック量の関係

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ったりするもの）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。

ペタバイト／月

年平均増加率92%（2010-2015）

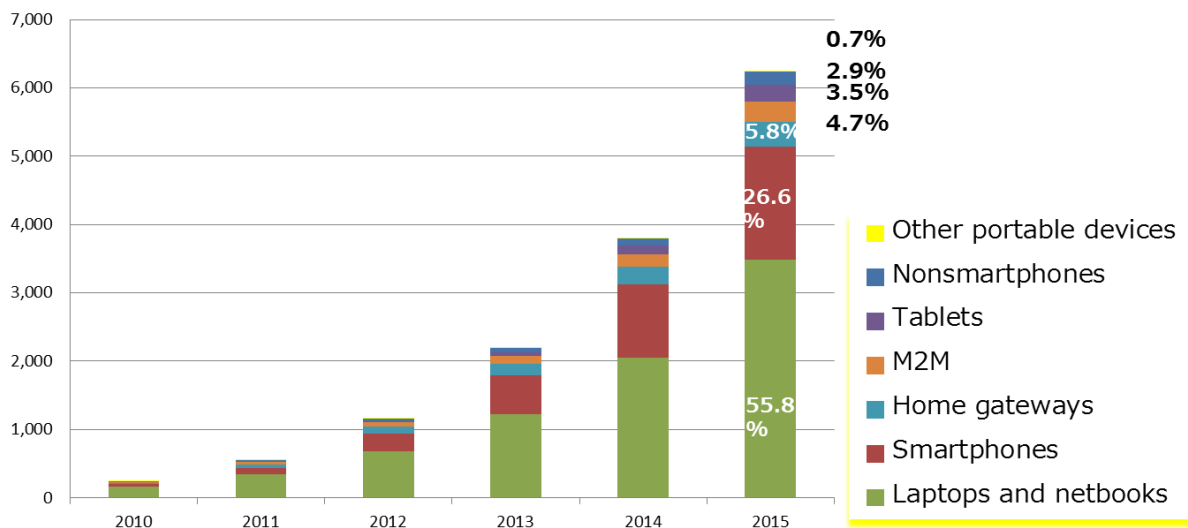


図 2. モバイルトラフィックのトレンドとその内訳（[5]のデータより作成）

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ー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。

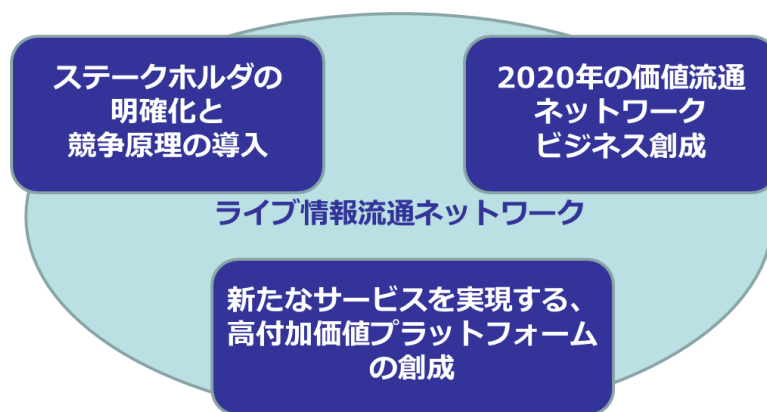


図 3. 社会的経済的効果を生むライブ情報流通ネットワーク

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。

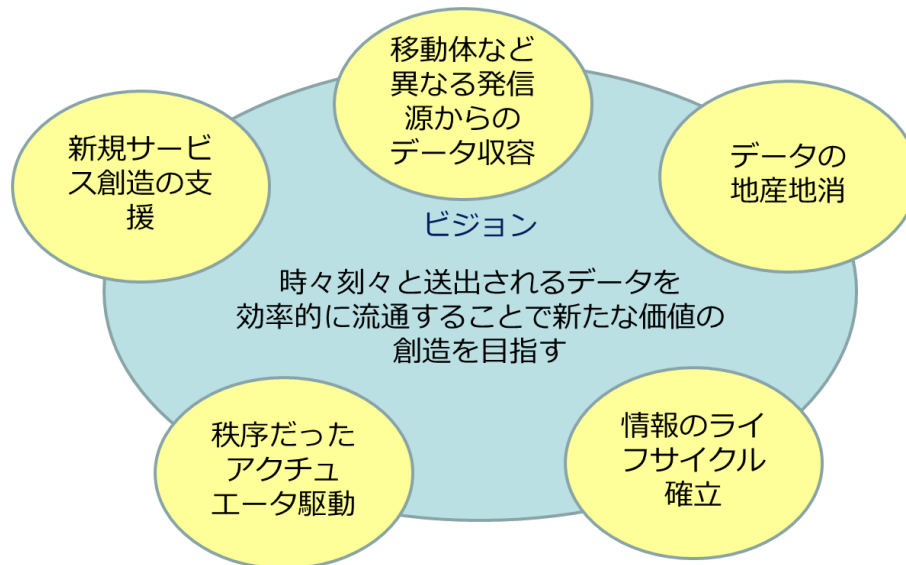


図 4. ビジョンとネットワーク設計原理

- 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、トラヒ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のと同時に、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、クロージ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ト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ト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。

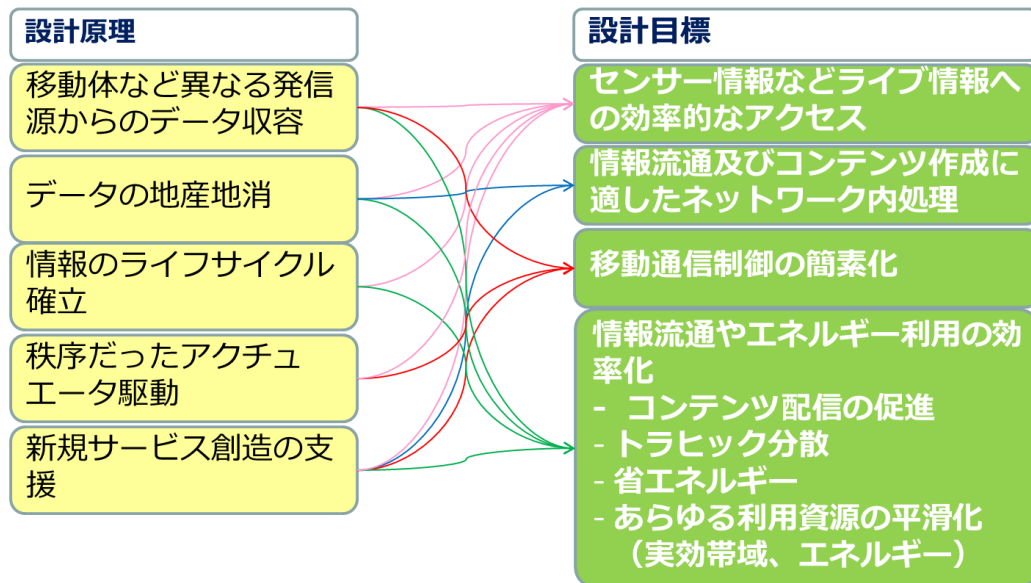


図 5. 設計目標、および、設計原理との関係

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。

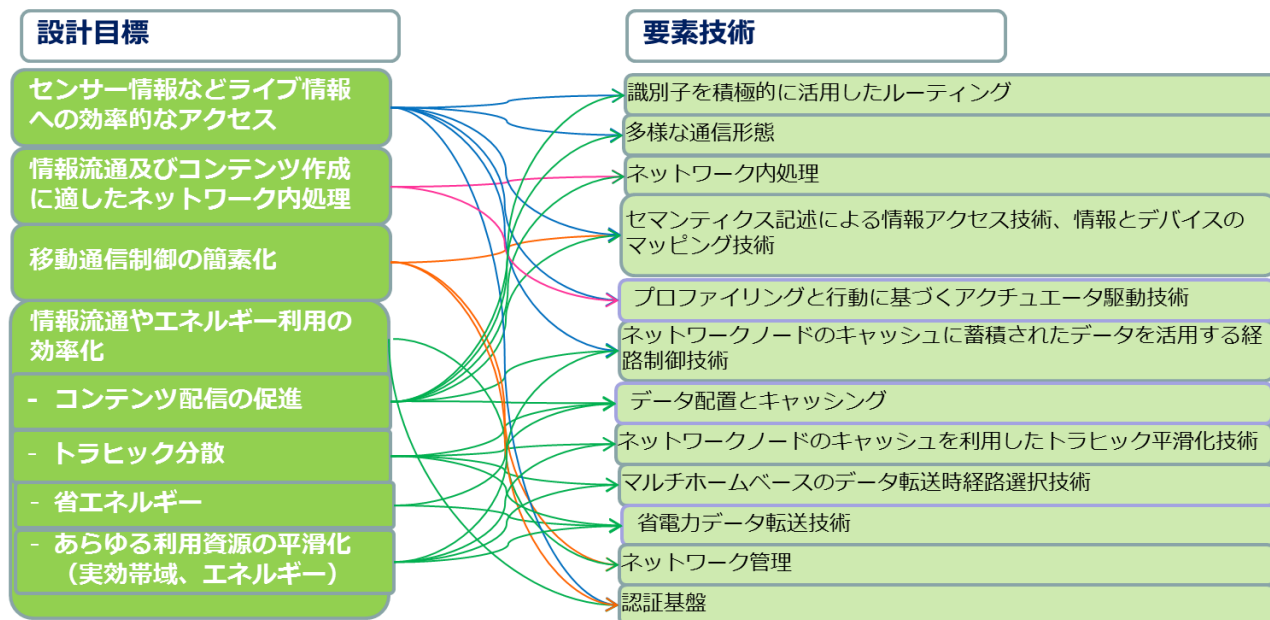


図 6. 要素技術およびその設計目標との関係

- 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。

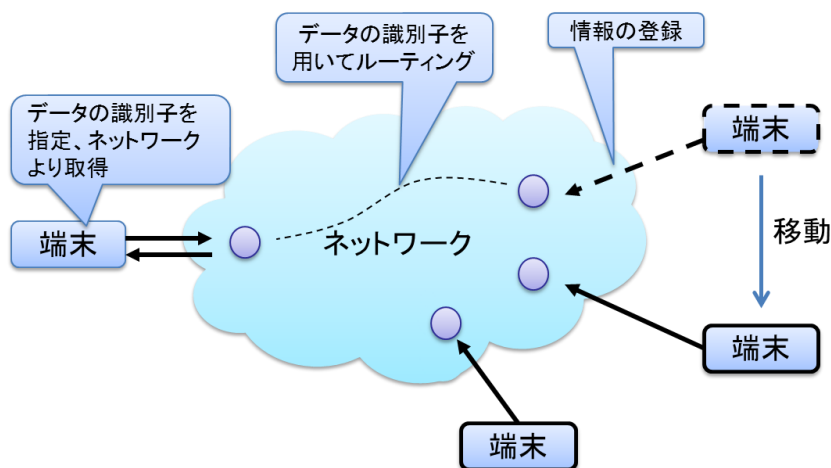


図 7. データ識別子を用いたルーティング

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、多様で多量の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の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ー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]）。

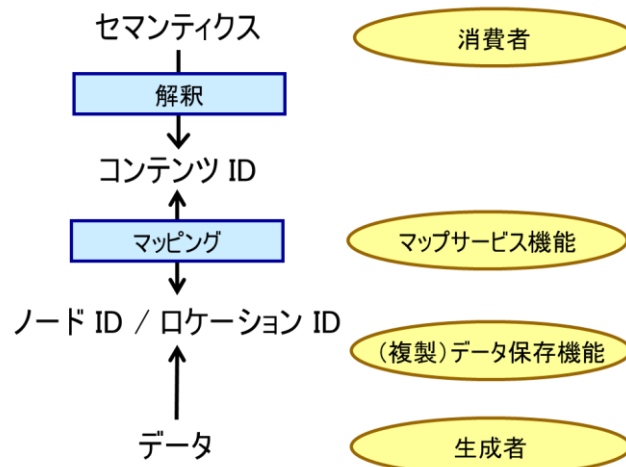


図 8. セマンティクスから ID への変換とコンテンツアクセスのためのマッピング

- 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。

 1. 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。
 2. 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。
 3. 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、トラヒック量算出、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。

(i) 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収容するために、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。

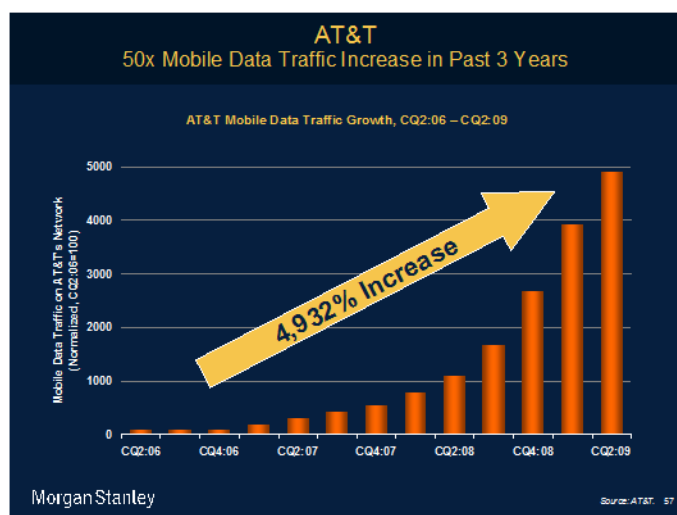


図 10. AT&T によるモバイルデータの予測

- 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する。
- 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ィール、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の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。

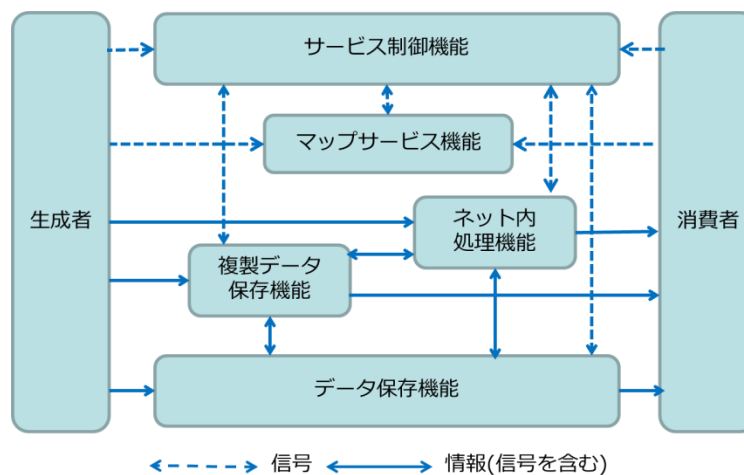


図 11. アーキテクチャフレームワーク（全体像）

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。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

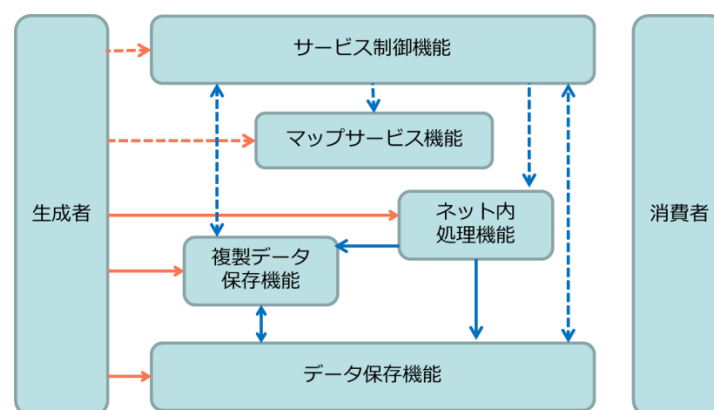


図 12. データアップロード時の信号とデータフロー

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。

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）。

- 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。

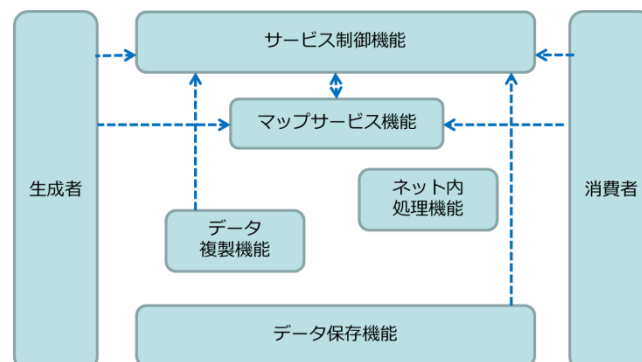


図 15. 情報および機器登録時の信号転送のフレームワーク

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。

- 24

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。

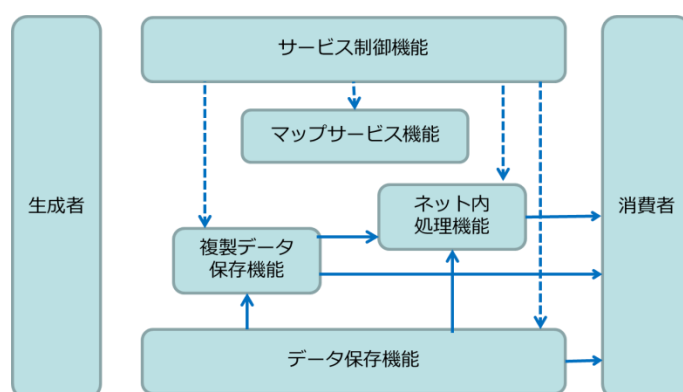


図 16. アクチュエータ駆動時の信号および情報転送のフレームワーク

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。

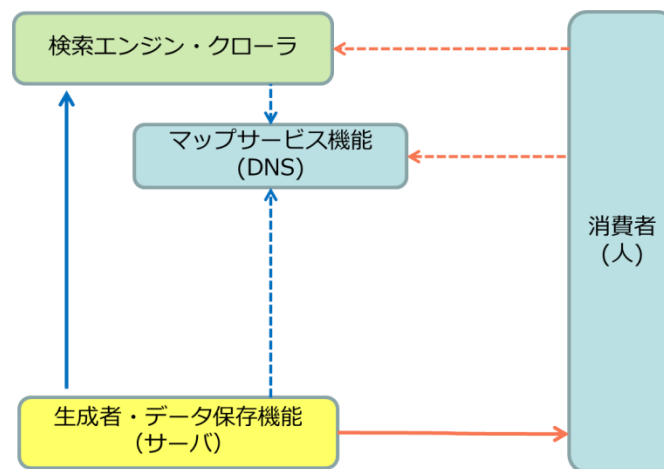


図 17. インターネットのフレームワーク

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さ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。

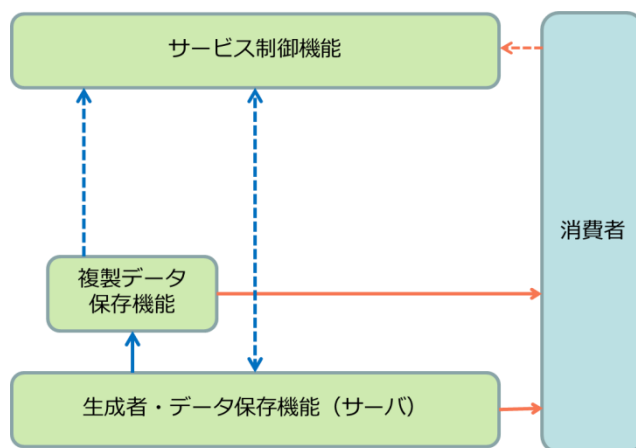


図 18. CDN のフレームワーク

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。

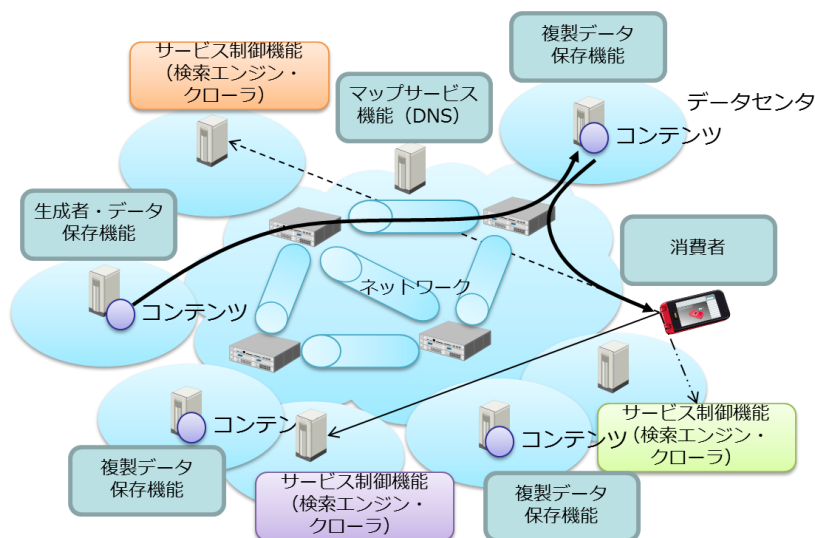


図 19. 情報検索サービスや CDN とネットワーク提供者とが独立するインターネット

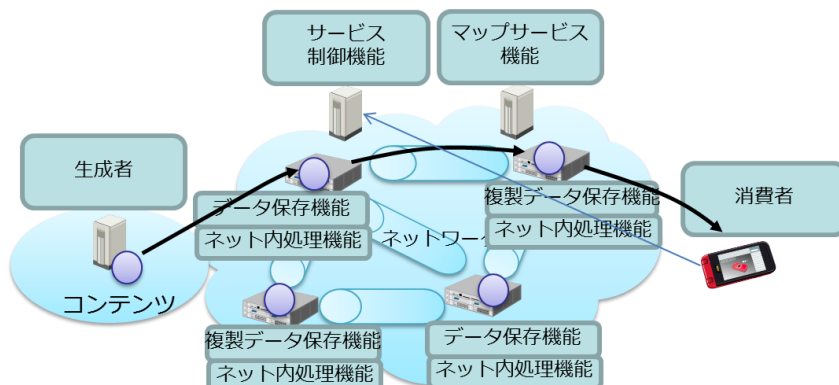


図 20. ライブ情報流通ネットワーク

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。

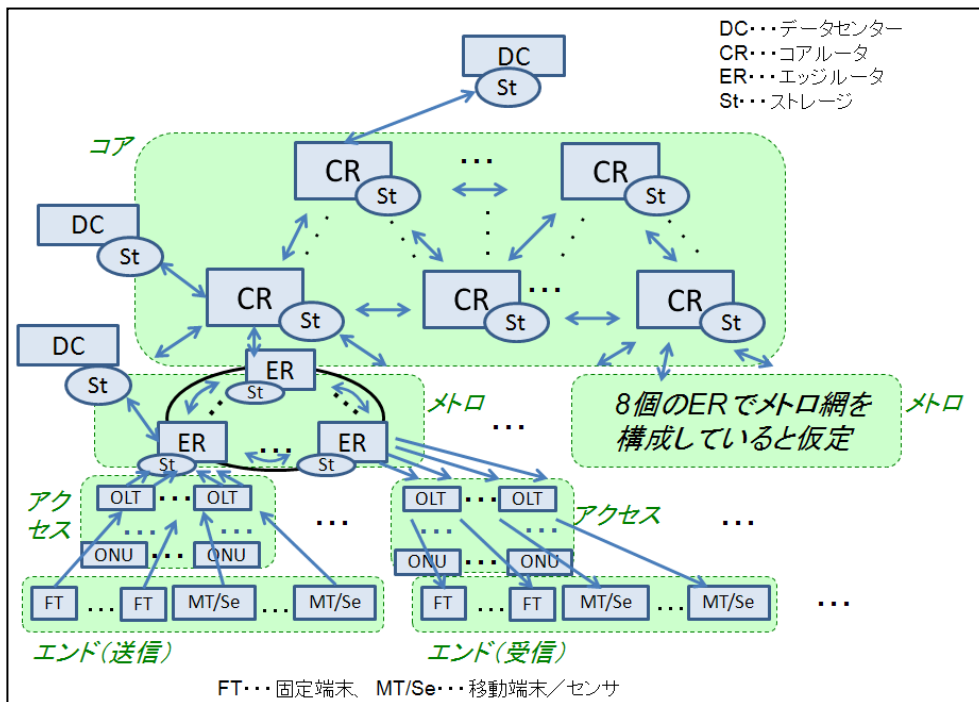


図 21. 見積りに用いたライブ情報流通ネットワークのトポロジ

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

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。

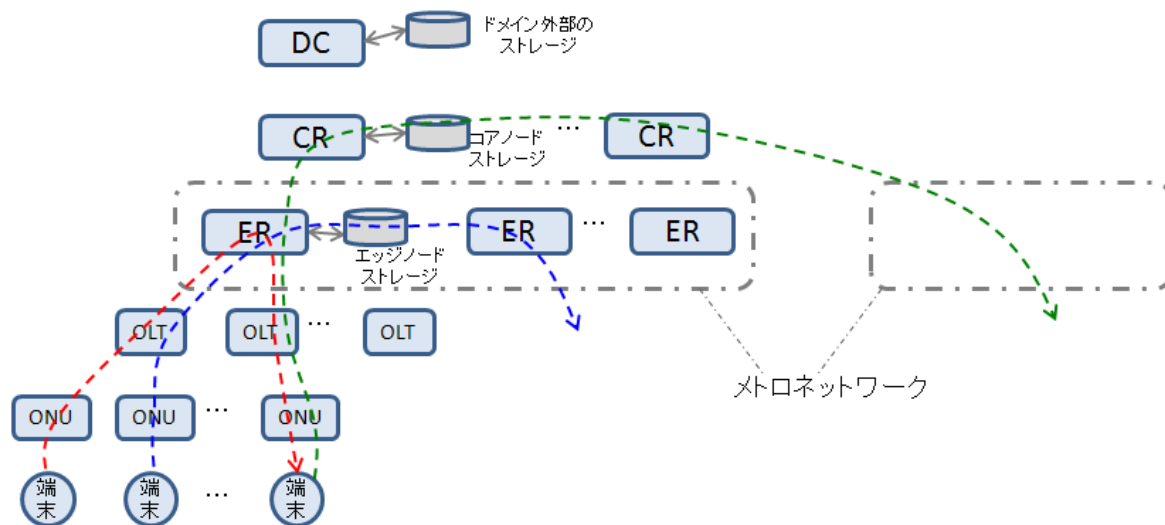
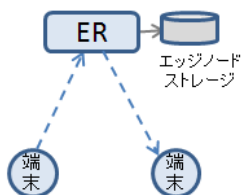
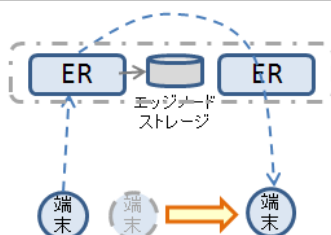


図 22. 移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（全体）

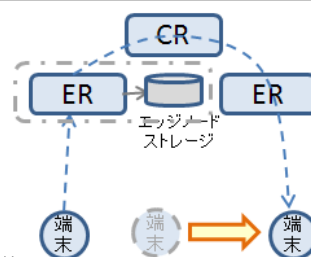
ケース1（同じERに存在）



ケース2（同じメトロ網内の別ER）

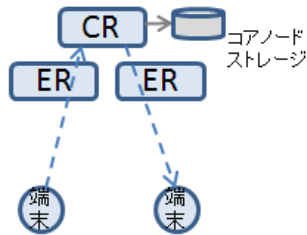


ケース3（別のメトロ網のER）



*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））

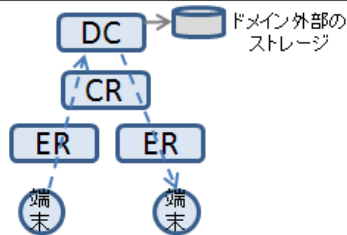


図 23. 移動端末の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー（ヒット別）

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 α_1 、 α_2 、 α_3 、 β 、 γ 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、 α_1 、 α_2 、 α_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、 α_1 、 α_2 、 α_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 $c_u+c_d=52\text{kpbs}$ 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	$\alpha_3 X \times A \times (2c_D)$ 2×CR→CR
CN=EN	0	0	$\alpha_3 X \times A \times (2c_D)$ (ER→CR)+(CR→ER)
EN=EN	0	$\alpha_2 X \times A \times (3c_D)$ ストレージ+ER+(ER→ER)	$\alpha_3 X \times A \times (4c_D)$ ストレージ+ER+(ER→ER)+(ER→ER)
EN=UT	$\alpha_1 X \times A \times (4c_U+4c_D)$ (ONU+OLT+ER+ストレージ)+(ストレージ+ER+OLT+ONU)	$\alpha_2 X \times A \times (4c_U+2c_D)$ (ONU+OLT+ER+ストレージ)+(OLT+ONU)	$\alpha_3 X \times A \times (4c_U+2c_D)$ (ONU+OLT+ER+ストレージ)+(OLT+ONU)
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	$\gamma X \times A \times (2c_U+3c_D)$ (CR→外部)+ストレージ+ストレージ+外部+外部→CR
CN=CN	$\beta X \times A \times (4c_D)$ ストレージ+CR+2×(CR→CR)	$\gamma X \times A \times (2c_U+2c_D)$ 2×(CR→CR)+2×(CR→CR)
CN=EN	$\beta X \times A \times (2c_U+c_D)$ (ER→CR)+ストレージ+(CR→ER)	$\gamma X \times A \times (c_U+c_D)$ (ER→CR)+(CR→ER)
EN=EN	$\beta X \times A \times (c_U+c_D)$ (ER→ER)+(ER→ER)	$\gamma X \times A \times (c_U+c_D)$ (ER→ER)+(ER→ER)
EN=UT	$\beta X \times A \times (3c_U+2c_D)$ (ONU+OLT+ER)+(OLT+ONU)	$\gamma X \times A \times (3c_U+2c_D)$ (ONU+OLT+ER)+(OLT+ONU)
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、 α_1 , α_2 , α_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、 $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ の関係に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。

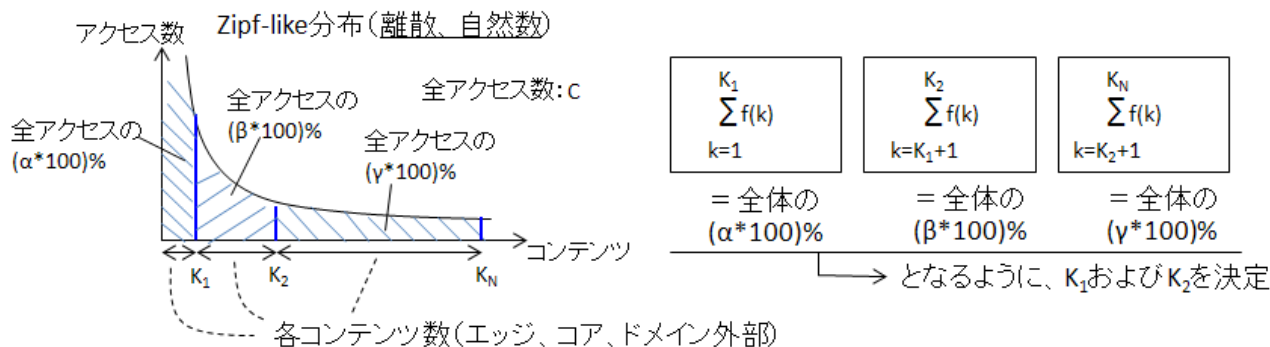


図 24. コンテンツに対するアクセス数

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。

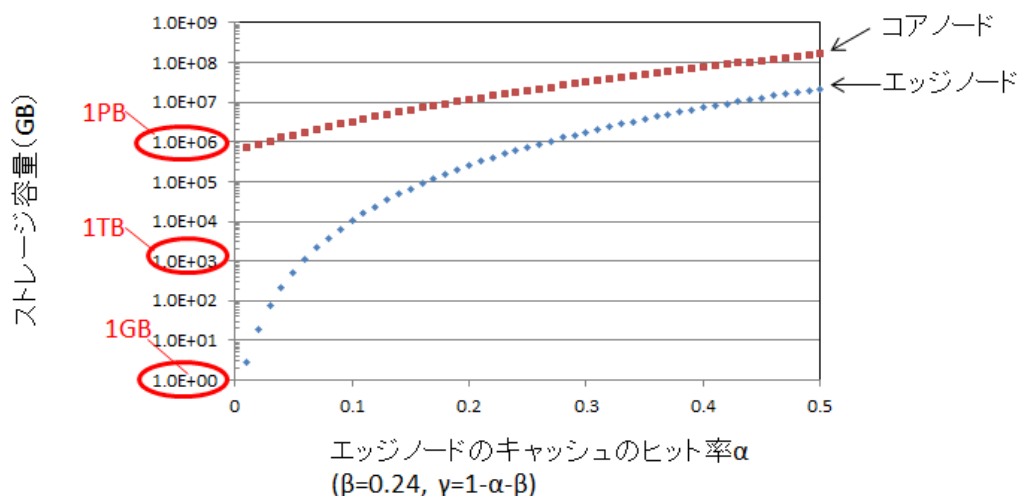


図 25. エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量（移動端末の場合）

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。

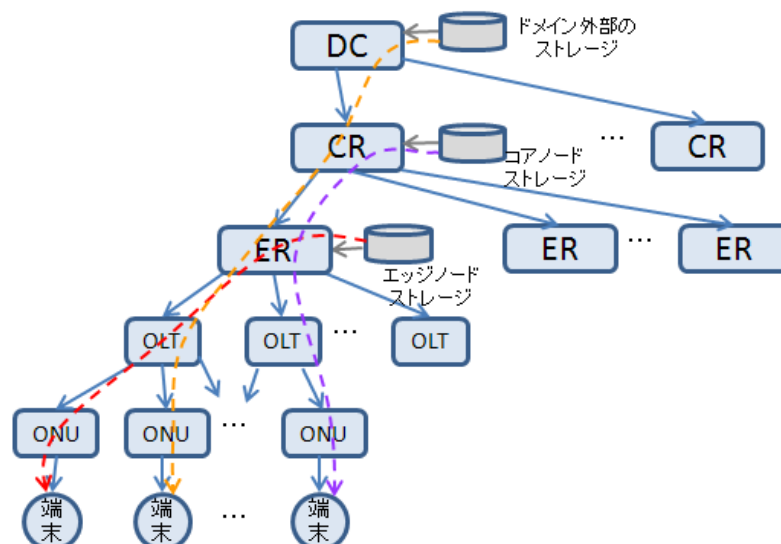


図 26. 固定端末(ダウンロード)の場合のライブ情報流通ネットワークのデータフロー

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由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由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	$\alpha N \times A \times (3c_0)$ ストレージ+外部 +(外部→CR)	$\beta M \times A \times (3c_0)$ ストレージ+外部 +(外部→CR)	$\gamma X \times A \times (3c_0)$ ストレージ+外部 +(外部→CR)
CN=CN	$\alpha N \times A \times (2c_0)$ $2 \times (CR \rightarrow CR)$	$\beta M \times A \times (3c_0)$ $2 \times (CR \rightarrow CR) + \text{ストレージ}$	$\gamma X \times A \times (2c_0)$ $2 \times (CR \rightarrow CR)$
CN=EN	$\alpha N \times A \times (c_0)$ (CR→ER)	$\beta X \times A \times (3c_0)$ ストレージ+CR+(CR→ER)	$\gamma X \times A \times (c_0)$ (CR→ER)
EN=EN	$\alpha N \times A \times (2c_0)$ (ER→ER)+ ストレージ	$\beta X \times A \times (c_0)$ (ER→ER)	$\gamma X \times A \times (c_0)$ (ER→ER)
EN=UT	$\alpha X \times A \times (4c_0)$ ストレージ +ER+OLT+ONU	$\beta X \times A \times (2c_0)$ (OLT+ONU)	$\gamma X \times A \times (2c_0)$ (OLT+ONU)
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 $\times 8=3.2$ 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、 $K_0=7,200$ 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。

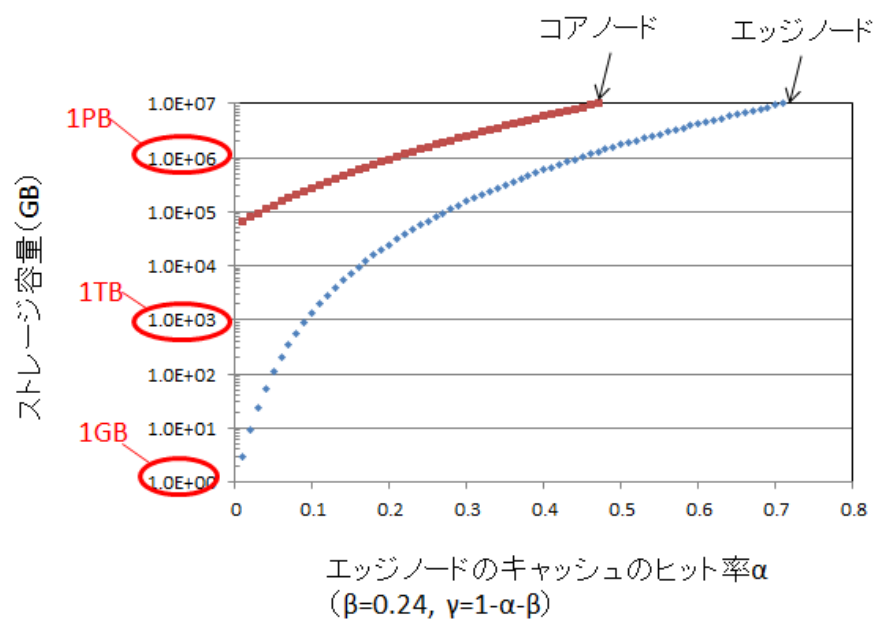


図 27. エッジノードキャッシュのヒット率 vs ノードストレージ容量 (固定端末の場合)

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 A ライブ情報流通ネットワークのユースケース

本章では、センサやモバイル端末等の生成者から時々刻々と送出される情報を元に、ネットワーク内で消費者に価値のある情報を構成して、消費者に情報を届けるライブ情報流通ネットワークの出口となるユースケースを示す。本章では、物流、エネルギー流通、コンテンツ流通、安全・安心・豊かな暮らしを支えるユースケースを取り上げる。これらは、小規模なものや機能限定であれば、インターネット（IPv4、IPv6）や NGN といった既存のネットワーク機能の拡張によって実現できるであろうものも含まれている。しかし、これらのユースケースは、単独で大規模な市場が形成されることや、互いの接続により、より大きな市場が形成されることが十分にある。また、成熟したときの管理コスト面から考えれば、既存のネットワーク機能の拡張によって管理コストを増やすよりも、これらの機能を提供するプラットフォームを始めから備える新世代ネットワークを構築してサービスを提供し、平行して、プラットフォームおよびネットワークを徐々に拡張しながらサービスの拡充と相互の接続によるサービスの成長を目指すべきものである。

図 28 には、各ユースケースの適用領域を示す。例えば、スマート物流では、運送車両 3000 台の移動状況の通知を元にその効率的な集荷・配送の移動を支えるプラットフォームを用いたサービスユースケースを述べている。運送中の荷物に限れば運ぶ資材の追跡を含めた情報流通プラットフォームを作ればよく、ライブ情報流通のスタートが可能である。これだけでも、業界全体では世界人口を超えた数、すなわち、数十億を超える数の資材の流通となる。しかし、それに留まらず、運送会社が請け負って輸送する多岐にわたる産業の全ての資材の追跡管理や効率的集荷・配送にまで発展すれば、兆を超える数量の物品の管理と流通の効率化を実施することになる。そのためには、技術的制約の多い現在のネットワークでのサービス提供ではなく、新世代ネットワークを構築することで産業の効率化を図ることが望ましくなる。一旦構築したプラットフォームは、自動車の電力需給のエネルギーマネジメントシステム（自動車 EMS）にも利用することができし、あるいは、先に自動車 EMS ができれば、そこから、スマート流通へのサービス提供も可能となろう。さらに、交通情報システムのインフラ利用や、交通情報システムによる情報提供と組み合わせることで、より精度の良い情報流通を実現することが可能となる。

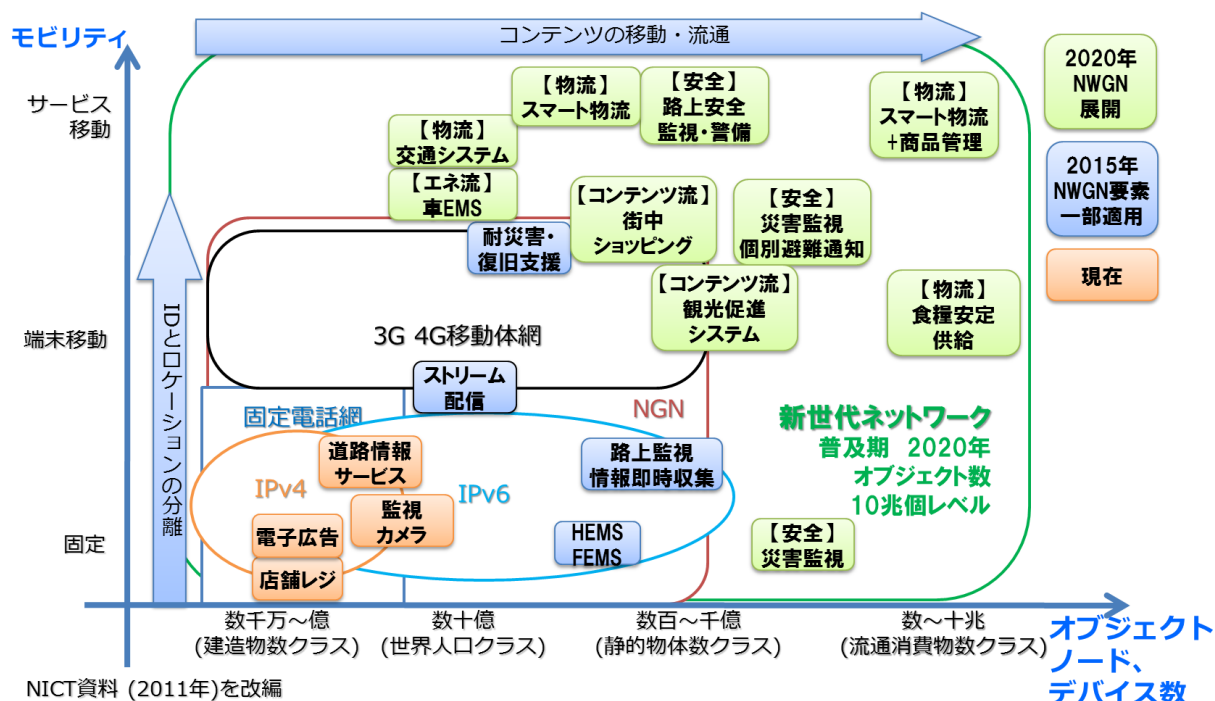


図 28. ライブ情報流通ネットワークが拡大する ICT サービス領域

表 9 はそれらのユースケースにおいて対象となり得る市場の規模と必要な装置管理規模を示す。単純計算となるが、ライブ情報流通ネットワークは、さまざまな膨大な数の機器から発信された情報を加工・流通することで、それらユースケース個別の我が国における市場規模の総計となる年間 100 兆円を超す規模の市場に対し

て流通の効率化を図れる可能性を持つ。ライブ情報流通ネットワークの対象は国内だけでなく、世界市場を含めることでさらに市場規模は拡大する。以降では、これらのユースケースの概要をその実現によって期待される効果および市場規模とあわせて述べることで、ライブ情報流通ネットワークの実現が未来社会において重要な役割を担うことを示す。

表 9. 検討したユースケースと市場規模.

ユースケース	市場規模（年）	端末規模	オブジェクト規模	装置管理規模	備考
スマート物流	物流市場 18 兆 4870 億円 (2010)	事業者毎車両 3000 台	運送荷物 1 月あたり約 300 万～400 万個	対象となるサービス拠点・取次店舗数、約 200	1 事業者 1 日 165 万円燃料費削減
食品販促	スーパー業界 18 兆 8390 億円 (2009)	同時来客数 500 人 情報発信者 1000 万人	店舗毎商品 1000～5 万点 お薦め献立 1 日 1 万 献立アップロード 1 日 2000 万	1～1000	1 店舗 1 日 20 万円経費削減
街中ショッピング	中古市場 1 兆円 (2011) 020 市場 24 兆円 (2011) 50 兆円 (2017)	日本の携帯電話契約数 1 億 3000 万	商品数 1 億点	参加 1000 店舗	
服飾	アパレル業界規模（主要 64 社売上高計） 4 兆 3729 億円 (2008)	同時来客数 100 人	商品数 100～10000	1～100 (店舗数)	
EV/PHV	充電スタンド 23 億円 (2011) 198 億円 (2020) (ガソリン 5800 万キロリットル (2010))	車両 8000 万台	1 日あたり、60 分×24 時間×13 サービスステーション情報×2 (エッジ⇒車両＋エッジ⇒送配電設備) =37440	サービスステーション 38600 箇所	
コンテンツ配信	BtoC 電子商取引市場規模 8 兆 4,590 億円 (2011)	サービス開始時の最大同時視聴者数、約 10000 人	10000	対象となるイベント会場数、約 400	利用者 3 万人 規模 BtoC 電子商取引事業者あたり 6000 万円売上増
デジタルサイネージ	推定市場規模 938 億円 (2010) 1 兆 2634 億円 (2016)。 広告規模 190 億円 (2010 見込) 770 億円 (2015 予測)	日本の飲食店約 72 万店	店舗毎 10 広告	1000 店舗 10000 広告データ	
Augmented Reality	200 億円 (2009) 1800 億円 (2015)	携帯電話ユーザ数 1.2 億	1000 万		
オンラインゲーム	1405 億円 (2011)	ゲームあたり 100 万人	装置あたり 1 分で 180 万	保存装置 1000	

交通情報システム	ITS 国内市場推計 6 兆円 (2010) 8 兆円 (2020)	車両 8000 万台 路上装置 10 万台	一日最大約 700 億 センサ情報	1000 局 (基地局制御装置 RNC 相当)	全トラフィック約 500Gbps
旅行	広告費 5 兆 8913 億円 (2012) 旅行業界規模 6470 億円 (2009)	バス 40 人 ホテル 1000 人 観光地 1 万人	観光地あたり 1 日 20000 画像	10000 (国内ホテル数相当)	海外旅行者 1,699 万人 海外からの日本旅行者 622 万人
仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定および追跡システム	2010 年のネット犯罪による金銭的被害総額と時間的費用の世界合計は 3,880 億ドル	現実社会での対象人数 (ユーザー数) + その周囲環境のログ取得	一日あたり生成される仮想空間のログは、2.5 エクサバイト/日		

A. 1. 物流

A. 1.1 スマート物流

● はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届ける情報流通ネットワークモデルとして、センサを配備した移動体（人、配送車両等）を利用することによって物流を効率化する機構であるスマート物流を提案する。

● 全体構成（図 29）

センサを配備した移動体（人、配送車両等）からの位置、速度、リアルタイム映像を収集、共有することによって、物流を効率化すると共に、車載カメラ映像、配送情報などリアルタイム物流（管理）情報を提供可能とする。例えば、配送車両に設置された車載カメラ映像をスマートフォンからの位置情報、移動情報と組み合わせることで収集し、他の配送車両や物流利用者と共有可能とする。また、得られた情報を最新の流通配送状況と組み合わせることで、道路混雑状況や特定の利用者向けの配送状況といったライブ情報として複製データ保存機能に蓄積し、利用者に再配信する。配送車両のスマートフォンからの位置情報、移動情報を、最新の配送状況と組み合わせることで、ライブ情報として複製データ保存機能に蓄積する。近くを移動中の配送者は、複製データ保存機能のライブ情報を、次の配送先の選択情報など、効率的な配送を行うための情報として、ネット内処理機能を通じて処理を行った後に取得する。

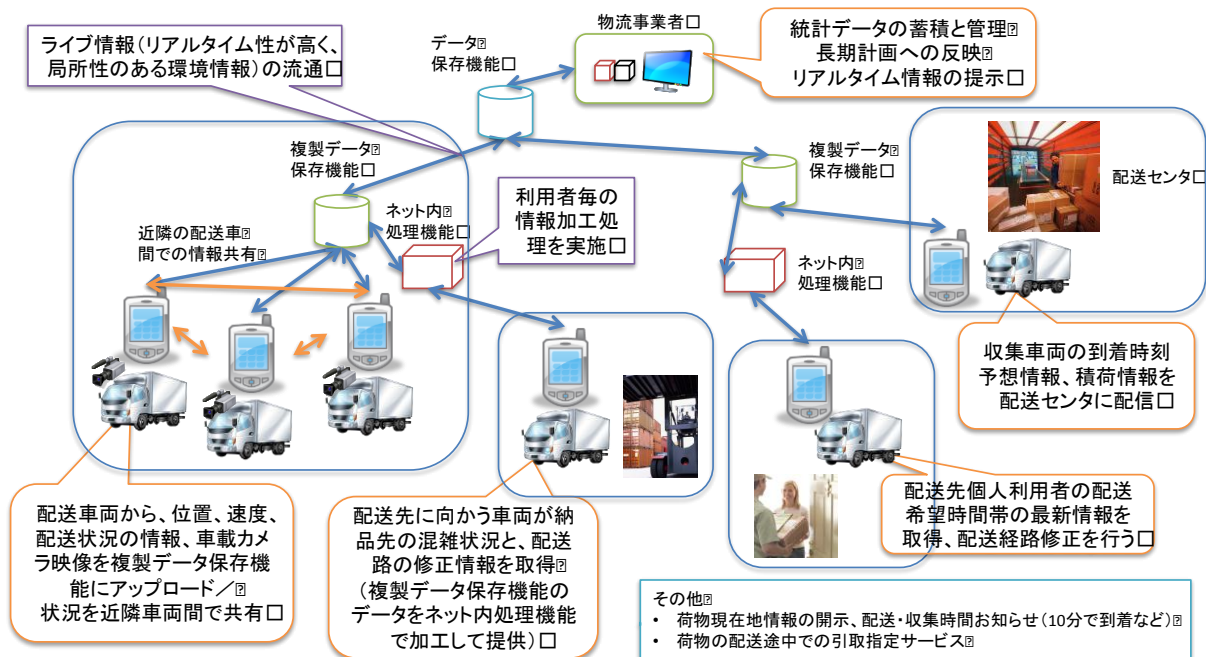


図 29. スマート物流全体構成

● ステークホルダ

- サービスプラットフォーム提供者
 - 物流事業者の配送車両から取得した配送状況、車載カメラ映像などのコンテンツや、公共交通機関が提供する道路渋滞情報などから取得した情報を加工し、効率的に消費者に配信するためのコンテンツの流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する
 - 情報の送受に必要な携帯端末向けの情報処理機能（データベース、サーバ・クライアントソフトウェア等）を提供する
 - 複数の異なる物流事業者からの情報を取りまとめて消費者に情報提供する形態も想定される
- 通信事業者
 - プラットフォーム構築に必要な回線を提供する
- ユーザ（物流事業者[宅配便事業者、トラック運送事業者など]）
 - 消費者に対して配送状況に関するリアルタイム情報を提供することによって、効率的できめ細

かい配送サービスを提供する

- 物流事業者内において、配送車両間、配送センタと配送車両間などのリアルタイム情報共有を効率化する
- 消費者に対して物流事業に付随して取得した渋滞情報などのリアルタイム情報を提供することによって、公共機関が取得した情報を補完することが可能な情報サービスを提供する

- 期待される効果

時々刻々変動する流通配送状況を考慮しつつ、配送作業を効率化するための、配送移動時のより正確できめ細かい道路混雑状況、到達時刻予測、最適経路提示といったライブ情報の提供を可能とする。また、物流における配送状況に関する情報を利用者に提供・共有することによって、利用者視点での効率的できめ細かい配送サービスの実現を可能とする。配送作業効率化により、消費者に対するサービス時間短縮のみならず、消費する燃料コストや商品管理コストの削減を可能とする。

- 市場規模・経済効果

物流事業者当たりの1日の燃料費支出165万円の経費削減。事業者が保有する配送車両3000台として、1台あたり5リットルの軽油消費量の改善により、 $110 \text{円} \times 5 \text{リットル} \times 3000 \text{台} = 165 \text{万円}$ と算出した。

(参考) 2010年度の物流市場規模は18兆4870億円、前年度比111.0%と伸長、矢野経済研究所レポート[49]より。

- 構成要素

コンテンツ：

車載カメラ映像、道路混雑情報、配送車位置・速度情報、配送品管理情報、配送経路情報、配送時刻情報。

生成者1(配送車両1)：

配送車両内に設置された車載カメラ、配送管理端末がスマートフォン等の携帯端末経由で情報の送受信が可能となっている。車載カメラ映像、道路混雑情報、配送車位置・速度情報、配送品管理情報、配送経路情報、配送時刻情報が複製データ保存機能に送出される。

消費者1(利用者、発送人・受取人)：

一般利用者が保持するスマートフォン等の携帯端末経由で情報の送受信が可能となっている。配送車位置情報、配送品管理情報、配送経路情報、配送時刻リアルタイム情報、配送車両のリアルタイム映像などのライブ情報を取得する。

消費者2(配送車両2)：

配送車両内に設置された車載カメラ、配送管理端末がスマートフォン等の携帯端末経由で情報の送受信が可能となっている。配送車両の配送状況、リアルタイム道路混雑情報、交差点のリアルタイム映像、最適迂回経路、配送先の在宅状況などのライブ情報を取得する。

複製データ保存機能：

生成者1から送られた情報を保存する。

ネット内処理機能：

複製データ保存機能に保持された情報を、消費者に送出する前に、消費者(1、2)の利用形態に応じた情報加工処理を行った後送出する。

サービス制御機能：

生成者1からの情報を適切な複製データ保存機能に導いたり、複製データ保存機能からネットワーク内処理された情報を消費者1や消費者2に送付したり、複製データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能

物流を効率化するための、配送情報などリアルタイム物流管理情報を取得可能とする。

配送車両を対象として、複製データ保存機能が送受するトラフィック量の見積りを行う(図30)。

下記の前提条件の場合、複製データ保存機能あたりにアップロードされるトラフィック量は最繁時に1時間あたり7.4Gbyte、ネット内処理機能を介してダウンロードされるトラフィック量は1時間あたり4.4Gbyte。

前提条件□

- 複製データ保存機能が対象とする、配送車両3000台から情報を取得□



- 1台の車両から送出されるデータは、車両ID、道路ID、位置情報、速度情報、配送状況情報、車載カメラ映像など、1回あたり平均約14kbyte□
- 送出頻度は最繁時に0.05Hz(20秒間隔)□
- 1台の車両が受信するデータは、配送指示情報など、1回あたり平均約8kbyte□
- 受信頻度は最繁時に0.05Hz(20秒間隔)□

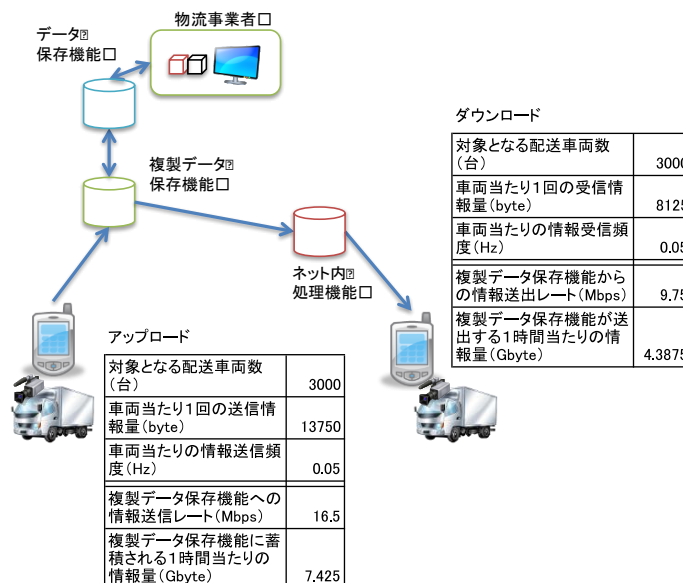


図 30. スマート物流におけるトラフィック量見積.

配送車両を対象として、端末と複製データ保存機能に必要とされる処理機能、データの流れについて一例を示す。

下記図 31 の前提条件の場合、配送車両からのライブ情報を複製データ保存機能内の受信機能要素で受信し、データ保存機能要素によってデータテーブルを生成する。ネット内処理機能の配送プランデータ処理機能要素は、データテーブルを利用して、最適な配送プランデータを生成する。配送プランデータは送信機能要素によって各配送車両へ送出される。

前提条件□

- 各配送車両はネットワークアクセスが可能なスマートフォン端末か同等の機能を持った端末、車載カメラを配備する。□
- 各配送車両の端末は現在位置、速度情報、カメラ映像を取得、送信可能とする。□
- 各配送車両が配備する端末には、センサ機能が搭載されており、道路IDなどの環境情報をリアルタイムで取得可能とする。□
- 道路に環境情報の発信設備が設置されている。(Optional)□

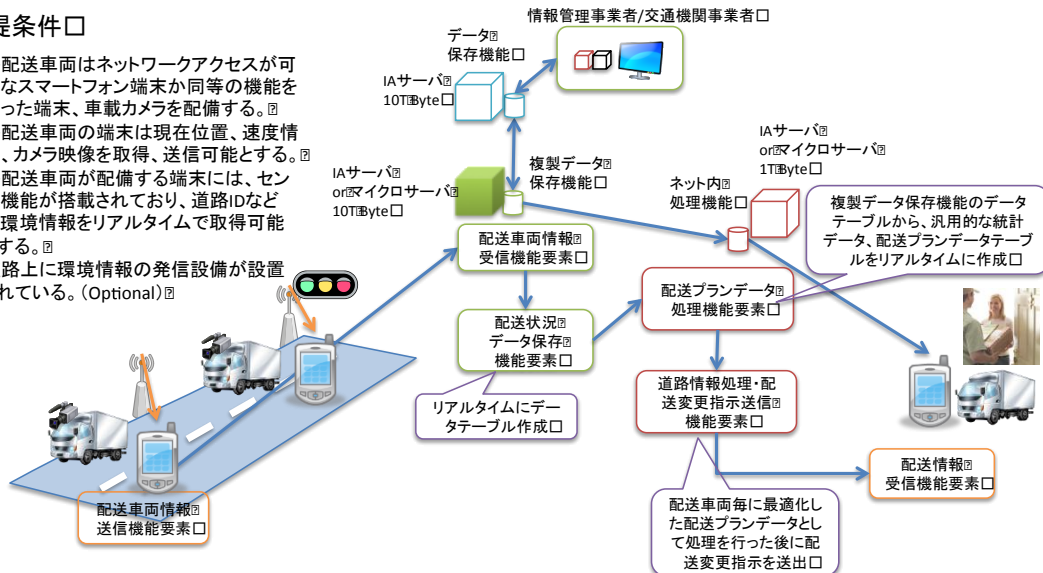


図 31. スマート物流トラフィック量推定における前提条件.

● インターネット+クラウドとの違い

配送車両が移動する際に必要とする混雑状況は局所性があり、情報をクラウドサーバで一括して保持する場合に比べて、分散配置された複製データ保持機能を利用する場合の方が、ネットワーク帯域の利用効率が高く、全体の消費電力量も削減可能となる。また、情報処理のリアルタイム性、各配送車両や利用者に特化した最適情報処理が必要となることから、クラウドサーバで一括して処理する場合に比べて、分散配置されたネット内処理機能を利用する場合のほうが、ピーク時間帯においても十分な処理能力を配備することが可能となる。

A. 1.2 食品販促

● はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届けるライブ情報流通ネットワークモデルとして、ショッピングカート内の商品やユーザの行動履歴から適切な食事メニューやお薦め商品を提案することでスーパーマーケットの商品販売を促進する機構を提案する。

● 全体構成（図 32）

スーパーマーケットの食糧等の商品販売を対象とする。スーパーマーケットの商品販売を促進するために、商品を用いた調理例やレシピをウェブサイトで閲覧できるようにしたり、店舗のデジタルサイネージやスマートフォンに表示したりするようにして、スーパーマーケット顧客の調理意欲と購買意欲をそそり、それに関連する商品の購入に繋げる。調理例は、顧客や従業員等からの調理例のコンテンツサーバへのアップロードで充実する。

店舗ごとの当日の目玉商品や在庫過多の商品などを上手く捌くために、店舗ごとに複製データ保存機能とネットワーク内処理機能から構成されるサーバを用意し、また、顧客の嗜好や通常の購入金額情報をそのサーバやより上流の本社サーバ（ここにはデータ保存機能も併せ持つ）に保持し、時々刻々と変化するカートに入れた商品情報と顧客の位置情報をカート等からそれらのサーバ等に転送すると、サーバが適切なメニューやお薦め商品をピックアップし、顧客である消費者に示すことで商品購入の誘導を効率的にする。

客単価を上げること、顧客を増やすことは大切であるが、それにも増して、できるだけ毎日来店してもらえるよう、在庫管理の適正化（在庫を抱えない方向での販促）に重みを置く。

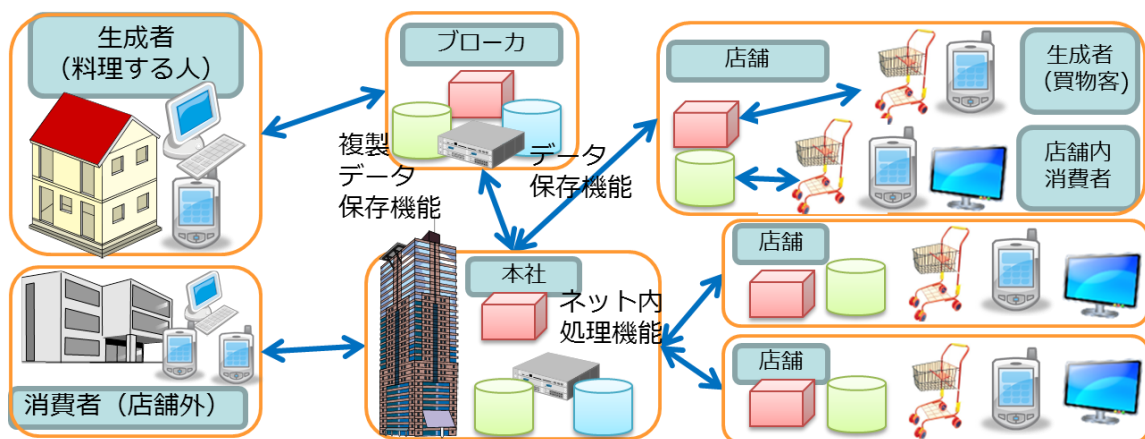


図 32. 食品販促全体構成.

● ステークホルダ

- ・ コンテンツホルダ（ブローカ）
 - － 生成者からコンテンツを収集して加工し、ユーザに加工されたコンテンツを提供する
- ・ サービスプラットフォーム提供者
 - － コンテンツホルダから取得した情報を加工し効率的に消費者に配信するためのコンテンツの流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する
- ・ 通信事業者
 - － プラットフォーム構築に必要な回線を提供する
- ・ ユーザ（店舗）
 - － 消費者に対して店舗内サービスとインターネットを用いた広告配信サービスを提供する

● 期待される効果

消費者の嗜好やその日の気候、ブームにあった「調理例」を提示することで期待感を与え、一方で、その調理結果を皆に見せるという満足度を消費者にあたえることができるので、顧客の囲い込みに繋げることが

できる。店舗利用者に対して適切な商品を提供することで、売上を若干増加させつつ、適切な在庫管理ができるので健全なスーパーマーケット店舗および企業経営に繋げることができる。

- 市場規模・経済効果

現状、処分を防ぐ都合上半値で売っている商品を、販促によりすべて正値で販売するとして、1日1店舗あたり100円×2,000人=20万円の経費削減につながる。（注：客数は店舗あたり1,000～5,000人、客単価は1,500～2,000円という日本スーパーマーケット協会スーパーマーケット年次統計調査（平成22年調査、平成23年5月発表）の情報を元に人数を2,000人とした）。

インターネットWebサイト業界動向サーチ[50]によると、平成21年スーパーマーケット業界規模。18兆8,390億円。売上高純利益率：+0.7%であり、単純計算では非常に削減効果が大きく、市場全体へのインパクトも大きい。

- 構成要素

コンテンツ：

献立やレシピ。カート内商品情報。

生成者1（店舗外）：

家庭のPC、スマートフォン。より直接的にはそこに繋がっている、または、内蔵されているカメラ。

献立を生成する。なお、情報を充実するために、生成者のインセンティブを重視する。たとえば、家庭で調理した料理の写真をインターネットのコンテンツサーバにアップロードすると、それを第三者が閲覧する回数や購買に貢献した回数に応じた特典を付けることで、商品販売に直結する価値のあるコンテンツを増やす。

生成者2（店舗内）：

店舗のカート。顧客のもつ商品の情報を生成する。

消費者1：

家庭のPCや公衆網に繋がるスマートフォン。献立や必要なレシピを検索する。

消費者2：

店舗のデジタルサイネージや店舗内ショッピングカート、店舗内の顧客のスマートフォン。お薦めの商品とそれを用いた献立を表示する。

データ保存機能（クラウド）：

生成者1から送られた情報を保存する。

データ保存機能（本社）：

各店舗から送られた顧客の購買情報を保存する。

複製データ保存機能（本社）：

クラウドから送られてきた情報を保存する。

複製データ保存機能（店舗内）：

クラウドデータ保存機能あるいは本社複製データ保存機能に保持された情報から、店舗の販売方針に沿った情報を抜粋して保存する。例えば、販売したい商品と天候等をkeyにし、ヒットしたクラウドや本社から情報を取得しローカル（店舗）に保存する。また、本社から送られてきた顧客情報や、時々刻々と変化する生成者2の情報を管理する。

ネットワーク内処理機能（クラウド）：

生成者1からアップロードされた情報に適切な属性情報を付与し情報の価値を増す。例えば、料理を構成する食物の個別情報や、当時の天候や土地情報を付与する。

ネットワーク内処理機能（店舗）：

生成者2からアップロードされた時々刻々と変化する情報に対し、適切な情報を選別し、消費者に送付する。他の特売品に誘導する。サイネージとカートに対して適切な情報を提供する。

サービス制御機能：

生成者1からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、消費者1の要求に対して適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、消費者2へ適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルとネットワークシステム性能

サービスプラットフォーム提供者は、店舗繁忙期に滞在する 500 人に対してストレスなく商品情報を提供するためのシステムを提供する（図 33）。各顧客がカートに商品（食品）を入れ、次の商品を選択開始するまでは 10 秒程度である。提供されるシステムはその 10 秒間に、次のお薦め商品を選別し顧客に示す必要がある。そのためには、

- 店舗内であらかじめ 10000 パターンの献立情報とそれを構成する商品情報を保持するために、10GB（10000×1MB）の情報を保持し、
- カートからの情報を得て適切な情報を提供するために毎分 500 回の処理可能なサーバを店舗に持ち、
- 店舗内で 66Mbps 程度の消費者向けトラフィック、66kbps 程度の生成者からのトラフィックをストレスなく提供する仕組みを必要とする。
- 頻繁にアクセスされるだろう 10GB（1MB×10000 枚）程度の情報をローカルの店舗に保存しておくことで、情報ダウンロードにかかる消費電力を削減する。

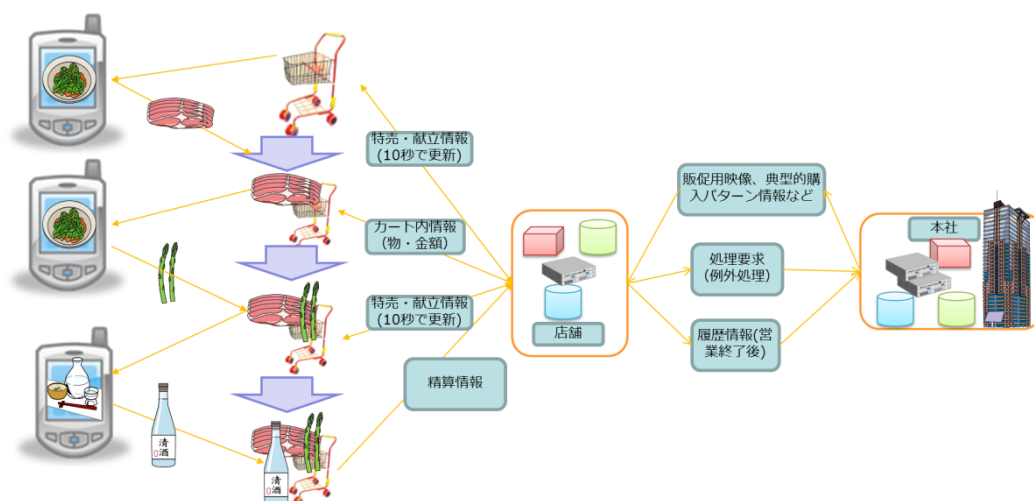


図 33. 食品販促におけるネットワークモデル。

以降は店舗外のトラフィックの流通に関するトラフィック見積である。

- コンテンツ容量コンテンツブローカーは、データ保存機能に 1 日あたり 1TB の情報を蓄積し、5 年保持するために 1800TB を必要とする。1TB は家庭からのアップロードであり、google 検索により「ブログ 献立」を鍵にしてキーワード検索すると 698 万件ヒットしたのでアップロード人口を 1000 万人とする。一日 2 枚のアップロードをすることで、 $10,000,000 \times 50KB \times 2 = 1$ テラバイト／日を見積った。
- 回線速度（ブローカへのアップロード）
生成者 1 が食後か昼間の決まった時間にアップロードする場合、1 時間に平均して 1Gbps 程度のアップロード通信が発生する。
- スーパーマーケット Web からのダウンロード
1 つの大きな会社が経営するスーパーマーケットへの来客数が 20 万人、20 万人の消費者 1 が一日 10 回同じ時間帯に検索しダウンロードトラフィックが発生すると仮定すると、200 万検索（毎秒 500 検索）が発生する。1 加工コンテンツ 1MB とすると 4Gbps のトラフィックが各スーパーマーケット企業のサーバに発生する。
- インターネット＋クラウドとの違い
ローカルでよく使われる情報はローカルに予め保持する地産地消を促進し、ネットワークの輻輳と電力消費過多を防ぐ。当然、アクセス時間の短縮にも貢献する。当初は生成者からの献立情報はクラウドに保持されることを前提としているが、システムの成熟に伴い、店舗や企業ごと、あるいは風土を考慮して地域ごとにローカルに情報が保持され、地産地消が進むことも考えられる。

A. 1. 3 街中ショッピング

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届けるライブ情報流通ネットワークモデルとして、店舗からリアルタイムに提供される在庫情報、クーポン情報などとユーザの位置情報、希望商品、予算などをローカルかつリアルタイムにマッチングし、欲しい商品を確実にかつ短時間で購入できるサービスを提案する。

- 全体構成（図 34）

ユーザが欲しいものを確実に、迅速かつお得に購入できるようにする。

店舗は、住所などの基本情報に加え、在庫情報、価格情報、クーポン、特売情報など刻々と変化する情報をネット内に随時提供する。消費者は、欲しいもの、現在いる場所、予算、制限時間などの情報をキーとしてネット内に保存されたローカル情報を検索する。

ネット内処理は、ローカル情報をもとに消費者からの検索要求を処理し、条件にあった店舗情報、商品情報などを返す。消費者の制限時間などを考慮し、検索対象とするローカル情報の範囲を調整する。

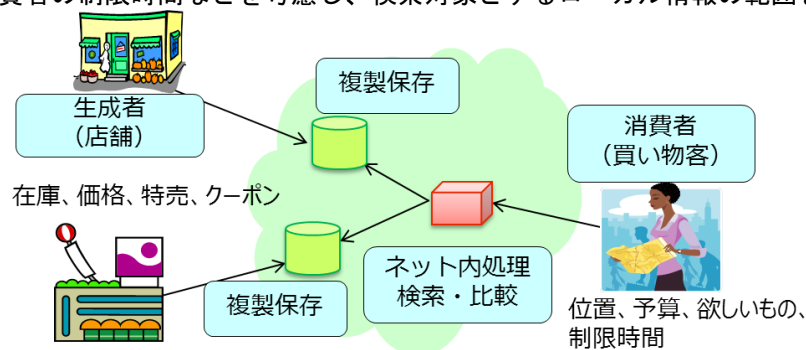


図 34. 街中ショッピング全体構成。

- 期待される効果

中古品など、欲しい商品があるかどうか、いくらで売っているか店舗に出向かないとわからないものについても、複数の在庫情報を比較し、最適な店舗に行くことが可能となる。それにより、購買活動がスムーズになり、市場の拡大が期待できる。

家電小売り、レンタルビデオ、レストラン・居酒屋などでも同様の仕組みにより、ユーザの利便性を高め、市場を活性化する効果が期待できる。

- ステークホルダ

- 店舗

- ◇ 店舗情報、在庫情報、価格情報などを提供する

- 検索サービス事業者

- ◇ 店舗情報と消費者の検索条件をマッチさせ、適切な店舗・在庫・価格情報などを提供する

- ネットワーク事業者

- ◇ コンテンツ、サービス資源、通信回線を提供する

- 市場規模・経済効果

- 家電小売り 市場規模 8 兆 5000 億円（2010 年度） 7 兆円（2012 年度推定）[51]

- 玩具・ゲームコンテンツ関連市場 7054 億円（2011 年度）[52]

- 中古市場 1 兆円（2011 年度） 販売店で購入 50%、ネットオークション 45%とほぼ同等。内訳は、衣料 14.6%、パソコン・周辺機器 14%、書籍 13.6%など[53]

- 野村総合研究所【IT ナビゲータ 2013 年度版】によれば、O2O（Online to Offline）市場は 2011 年度に 24 兆円規模で存在し、2017 年には 50 兆円規模へ拡大すると予測されている。

- 構成要素
 コンテンツ：
 在庫情報、価格情報、クーポン、特売情報
 店舗位置情報、地図（道案内用）
 生成者：
 店舗
 消費者：
 買い物客
 複製データ保存機能：
 店舗から提供されるコンテンツを店舗の所在地にもっとも近いところで保存する
 ネットワーク内処理：
 消費者（買い物客）から受信した検索要求に基づき、周囲のコンテンツを検索。条件にマッチするコンテンツおよび、それを保有する店舗までの道順などを応答する。
 サービス制御機能：
 生成者からの情報を適切な複製データ保存機能に導いたり、消費者の要求に対して適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。
- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能
 ひとつのデータ保存機能がカバーする店舗数を 1000 とする。
 1 店舗の商品数を 10 万、1 商品の情報（コンテンツサイズ）は、写真つきかどうかによって異なる。新品の場合は写真不要（もしくはメーカーのページへのリンクのみを保持）のため 1Kbyte とする。中古品は、状態などが異なるため写真つきで 500Kbyte と仮定する。ここでは新品:中古=9:1 と仮定して、平均およそ 50Kbyte とする。
 在庫状況は、毎分更新される。1 店舗あたり商品数の 1/1000 が更新対象となるとする。

 すると、データ保存機能に收容されるコンテンツの総サイズは、以下となる。

$$1,000(\text{店舗}) * 100,000(\text{商品}) * 50(\text{Kbyte}) = 5\text{Tbyte}$$
 毎分の更新にかかる通信負荷は、以下のとおり。

$$1,000(\text{店舗}) * 100(\text{商品}) * 50(\text{Kbyte}) * 8 / 60(\text{秒}) = 0.67\text{Gbps}$$
- インターネット+クラウドとの違い
 店舗は最も近いデータ保存機能にコンテンツを保存、更新するためネットワーク負荷が軽減される。ネット内処理は、周囲のデータ保存機能にのみアクセスすればよいため、レスポンスが良い。
 価格.com など、特定商品に関する比較サイトは、インターネット上に多数存在する。また、古本を含む書籍などの通販検索ができるサイト[54]なども存在する。また、レンタルビデオの店舗在庫検索ができるサービスも存在する[55]。しかしこれらは、特定の商品や企業に関する情報を個別に収集し提供しており、消費者からみれば提供される商品や検索範囲が限定されている。本展開例では、リアルタイムに近い情報の更新および、個人商店・スーパーなど幅広い選択肢から比較ができることで、消費者の利便性を高めることができる。ライブ情報流通プラットフォームは、こうした商品の ID（JAN コード、ISBN コードなど）と、商品の属性（商品名、題名など）をマッチングし、ID ベースでのシステム処理を可能とする能力を提供することが望まれる。

A. 1. 4 服飾

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届ける情報流通ネットワークモデルとして、センサカメラから定期的に出された買い物の行動情報に、過去の履歴や売れ筋情報を加味した買い物客個々への広告配信を利用することによって服飾販売を効率化する機構を提案する。

- 全体構成（図 35）

店内サーバからの配信により、店舗で陳列してる商品や目玉商品を店内外でスマートフォンで閲覧したり、店内でデジタルサイネージ風に表示したりするサービスにより、客の購買意欲を促進するためにライブ情報流通ネットワークを利用する。店舗カメラによる顧客の試着等の行動やその季節の天候などもお薦めする商品選別に反映する。販売結果や行動履歴を企業全体で集めることにより、目玉商品の選定や商品生産の調整等に還元することで他店舗の売上増を狙ったり、経営の効率化を図ったりする。

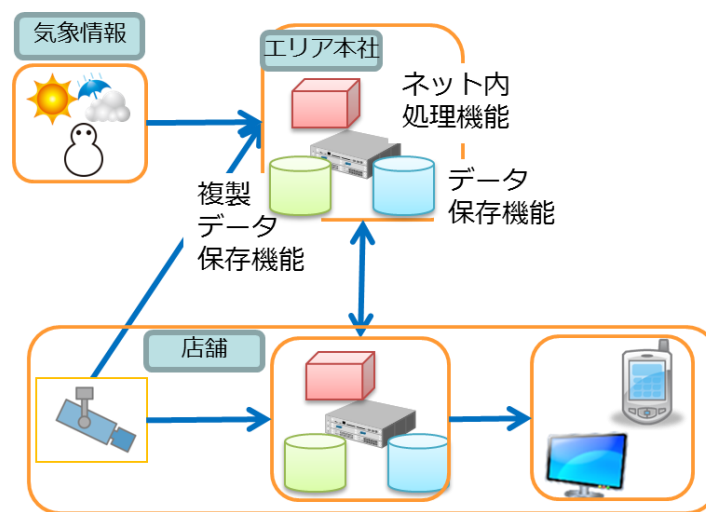


図 35. 服飾全体構成.

- ステークホルダ

- ・ サービスプラットフォーム提供者
 - ・ センサから取得した情報とユーザの嗜好（購入履歴）、天候等の属性情報を加工し、効率的に消費者に配信するためのコンテンツの流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する
- ・ 通信事業者
 - ・ プラットフォーム構築に必要な回線を提供する
- ・ ユーザ（服飾企業とその店舗）
 - ・ 消費者に対して店舗内サービスを提供する

- 期待される効果

消費者の嗜好やその日の気候、その年の流行にあった「着熟し例」を提示することで消費者に購買意欲を高め、顧客の囲い込みに繋げることができる。季節のうつり目が若干早い系列他地方の店舗での売り上げ動向や天候毎の売り上げ動向の記録を元に、その地方やその日の天候にあわせた商品を提示することも可能となる。売上を増加させつつ、POS と同様に適切な在庫管理ができるので健全な店舗および企業経営に繋げることができる。

- 市場規模・経済効果

インターネット Web サイト業界動向サーチ[50]によると、平成 20 年のアパレル業界の業界規模（主要対象企業 64 社の売上高計）は 4 兆 3729 億円。製造小売りを主体とした企業は、販売成果と製造をよりタイトにすることで適正な在庫管理ができ、経営の健全化を可能とすることから、経済効果は大きいと言える。

- 構成要素
 - 生成者：

店舗のセンサカメラ。センサカメラで撮影した顧客の服や、手にとった服の形や色に近い服を上流（店舗近傍（店舗内やエリア本社））に転送する
 - データ保存機構

センサから転送されてきた情報、および、顧客の行動履歴、店舗のお薦め商品などを保存する。
 - ネットワーク内処理機構

センサから転送されてきた情報を、顧客の行動履歴や天候などと照合し、お薦め商品を店舗内データ保存機構に転送・保存し、配信閲覧可能な状態にする。これらの情報は、途中で販売員によるチューン可能とする。
 - 消費者

店舗内の顧客のスマートフォンと店舗内のサイネージ。客がスマートフォンに備わる接客ボタンを押したり、サイネージの閲覧を続けていたりしたら店員が接客を始めることで、より円滑な商品販売とする。
 - サービス制御機能：

生成者からの情報と顧客情報を関係づける処理に導いたり、その結果から適切な複製データ保存機能内のコンテンツを消費者へ情報を送付したりして情報の流通制御を行なう。
- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能

同時に 100 人の来客があると仮定し、店舗のセンサカメラが 5MB の画像を 5 秒間隔で送るとする。 $100 \times 40/5 = 800\text{Mbps}$ のデータの流通が上流に発生する。一方、消費者に対しては処理された同じ量のデータ流通が発生する。合わせて、1.6Gbps のデータを流通させるネットワークを店舗内に構築すると良い。
- インターネット+クラウドとの違い

カメラで撮影した画像や映像は再利用されることが少なく、店舗内で処理をすることでトラヒックの増加を抑え、かつ、遅延の小さなサービスを来客する消費者に提供することができる。消費者が購買した際には、その客層情報と購買情報を、同様の服を販売している傾向がある近隣の同じ会社が運営する店舗に送れば、客の傾向にあわせた服を効率的に販売することができる。在庫管理は一つの店舗に閉じた話ではなく、店舗間での情報共有のためにネットをすでに利用しており、回線の新規敷設を最小限にした効率の良い店舗運営が可能となる。

A. 2. エネルギー流通

A. 2. 1 電気自動車の給電及びスマートエネルギー

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届ける情報流通ネットワークモデルとして、電気残量が少ない車両に対する周辺のサービスステーション店舗情報等の提供、さらにはその情報提供サービスによる電気エネルギー利用効率化の機構を提案する。なお、本提案は、スマートグリッドの発展および普及を促進する技術として位置づけられ、ライブ情報流通ネットワークは、スマートグリッドのインフラとしても有効である。

- 全体構成（図 36）

周辺のサービスステーション店舗情報の提供、及びそれらの情報を基にした電気エネルギー資源の効率的な供給を対象とする。

移動中の EV(Electric Vehicle) や PHV(Plug-in Hybrid Vehicle) の端末から、常時、電気残量や車種等の情報を最寄りのアクセスポイント（エッジノード）に送信する。エッジノードにて、町中を移動する車両のうち電気残量が少ない（例えば最大容量の 1/8 の）車両全ての電気残量や車種等の情報を解析して、町中の各エリアの車両電気残量度マップを作成し、周辺のサービスステーション店舗（EV/PHV 急速充電スタンド設置店）の店舗混雑予測や推薦（例えば順位付け）、店舗の場所等を各車両に通知する。

一方で、店舗混雑予測等を基に、エッジノードが、町中の各サービスステーションへの配電容量の必要量を見積もり、必要量を町中の送配電設備に通知する。送配電設備から、各サービスステーションに、配電容量の必要量だけ電気を送る。店舗混雑予測を基に各サービスステーションへの配電容量を変化させることで、電気エネルギー資源の効率的な利用が可能となる。

車両は移動するので、町中の各エリアの車両電気残量度マップは時々刻々と変化する。すなわち、車両端末からの情報も、消費者に提供するサービスステーション店舗情報も、それら情報から導出される各サービスステーションへの配電容量の必要量も、時々刻々と変化する。また、町中での情報のやり取りを想定しており、情報の地産地消の要素が強い。本サービスは、一般道路、高速道路、双方において提供可能である。

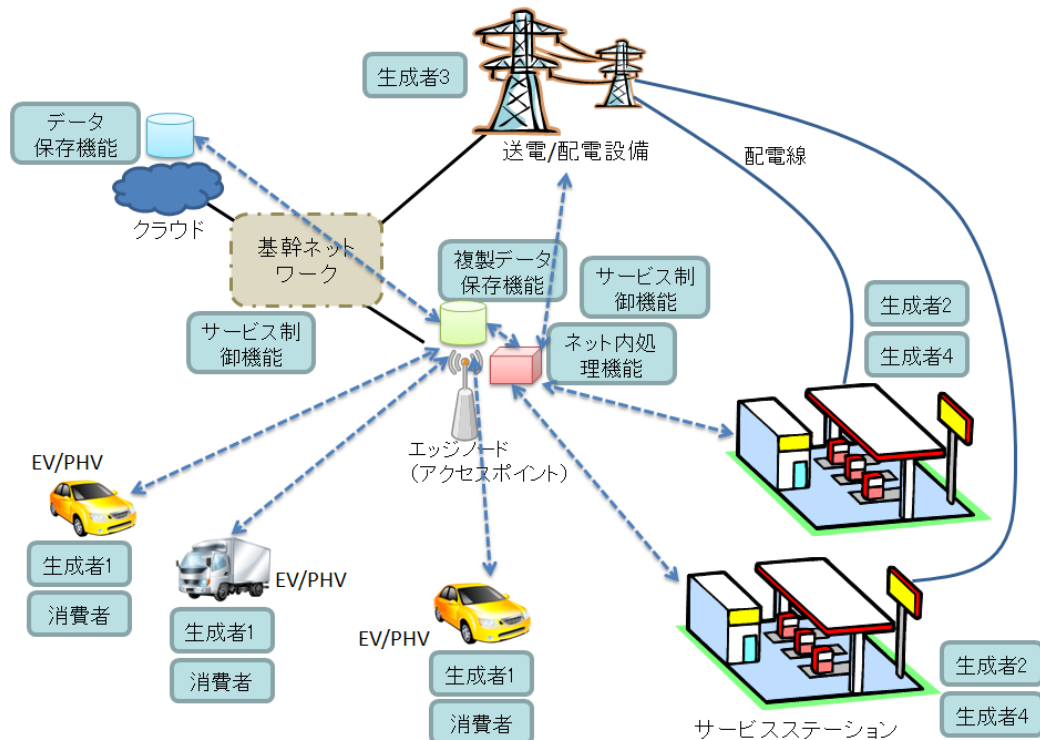


図 36. スマートエネルギー全体構成.

- ステークホルダ
・ サービスプラットフォーム提供者

EV/PHV から取得した電気残量情報を基に、町中の各エリアの車両電気残量度マップを作成し、周辺のサービスステーション店舗の混雑予測や推薦、店舗の場所等を各車両に通知する。さらには、それらの情報を基に、町中のサービスステーションへの配電容量の必要量を解析／見積もりし、結果を送配電設備に通知するなど、電気エネルギー資源の流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する。例えば、電気自動車普及協議会であったり、他にも、公共機構が情報を集めて情報提供を行ったり、電気会社がサービスを立ち上げて提供するといったことが考えられる。

- ・ 通信事業者
プラットフォーム構築に必要な回線を提供する。
- ・ 電気事業者
送配電設備から、ユーザに、効率的に電気を送る。
- ・ ユーザ（サービスステーションの店舗）
消費者 (EV/PHV) に対して電気を供給する。

● 期待される効果

- ・ 電気エネルギー資源の効率的な利用が可能である。
- ・ 消費者は、周辺のサービスステーション店舗の店舗混雑予測や推薦、店舗の場所等の情報を受けることで、どこでいつ電気を補充するかを考えやすくなる。

● 市場規模・経済効果

充電スタンドの市場規模は、2011 年が 23 億円であり、2020 年が 198 億円と予測されている[56]。但し、普通充電スタンド（戸建住宅の駐車場や企業の従業員用駐車場などへの設置）と、急速充電スタンド（高速道路やガソリンスタンド、市役所の自治体施設などでの設置）の 2 種類があり、双方が市場を半分に分けると仮定すると、2020 年予測として 99 億円が見込まれる。これらは、2010 年のガソリン売上が 5800 万キロリットル（参考：社団法人全国石油協会 Web ページ資料）であり、リットルあたり 150 円として 8.7 兆円であることから、今後の成長が十分に見込める市場である。

尚、電気自動車の市場規模は、2011 年が 1 兆 5940 億円であり、2020 年が 10 兆円と予測されている[56]。

● 構成要素

生成者 1（情報生成）：

EV/PHV。電気残量の情報を最寄りのアクセスポイントに送信する。

生成者 2（情報生成）：

サービスステーション店舗。店舗の現在の混雑状況をエッジノードに通知する。

生成者 3（エネルギー生成）：

送配電設備。生成者 1 から送られてネットワーク内処理機能により処理された情報を受信した後に、町中の各サービスステーションに、配電容量の必要量だけ電気を送る。

生成者 4（エネルギー供給）：

サービスステーション店舗。EV/PHV に、電気を供給する。

消費者：

EV/PHV。周辺のサービスステーション店舗の混雑予測や推薦、店舗の場所等の情報を受ける。サービスステーションから電気の供給を受ける。

データ保存機能：

クラウド。生成者 1 から送られた情報を保存および管理する。

複製データ保存機能：

エッジノード（アクセスポイント）のストレージ。データ保存機能に保持された情報から、電気残量が少ない車両の情報を抜粋して保存する。時々刻々と変化する情報を管理する。

ネットワーク内処理機能：

エッジノード（アクセスポイント）における処理。電気残量が少ない車両の数と各車種の情報を解析して、町中の各エリアの車両電気残量度マップを作成し、周辺のサービスステーション店舗の混雑予測や推薦、店舗の場所等の情報を作成して、消費者に提供する。さらには、それらの情報を基に、サービスステーションへの配電容量の必要量を見積もり、結果を送配電設備に通知する。

サービス制御機能：

生成者 1 からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、複製データ保存機能からネットワーク内処理された情報を消費者や生成者 3 に送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能

最も負荷がかかるのは、町中の車両から情報を集め、解析・加工し、各車両や送配電設備に情報を送るエッジノードである。

全国のサービスステーションの数を 38600 とする。（参照：国内ガソリンスタンド数 JX グループ情報 2010 年 6 月。）また、全国の町の数エッジノード数=2904（7 章参照）とする。その場合、1 つの町のサービスステーションの平均数は $38600/2904 \approx 13$ となる。

1 エッジノードで受信する総量

1 車両（車載センサ）あたりは 1 分間隔で 5 種類の 10KB 情報（ $\approx 6.67\text{Kbps}$ ）を送信するものと仮定する。また、13 箇所のサービスステーションからは、店舗の現在の混雑状況について 1 分間隔で 10KB 情報（ $\approx 1.33\text{Kbps}$ ）を送信するものと仮定する。

全国で車両が 8000 万台とする。すなわち、1 つの町中に、平均で $8000 \text{ 万} / 2904 \approx 27500$ 台が移動中であると仮定する。（都心の場合はもっと多い。）

すると、1 エッジノードで受信する総量は、最大値（最大瞬間風速）で $8\text{Kbps} \times 27500 = 220\text{Mbps}$ となる。（1 分で平均化させた場合、 3.67Mbps となる。）

1 エッジノードから各車両に送信する総量

町中の電気残量の少ない車両全てに対して、ブロードキャストで、13 箇所のサービスステーション店舗情報や店舗の推薦及び場所情報を送るものとする。各車両に送る情報量を、1 分間隔で、各店舗の混雑予測情報を 100KB、店舗の推薦及び場所情報を 100KB とすると、合計 $(13 \times 100\text{KB} + 100\text{KB}) / 60 \text{ 秒} = 186\text{Kbps}$ となる。

エッジノードから送配電設備に送る情報は、車両に提供した店舗混雑予測情報等であり、合計 $(13 \times 100\text{KB}) / 60 \text{ 秒} = 173\text{Kbps}$ となる。

配電容量の必要量は、例えば、（単位時間あたりの来店予測数） $\times$ （空っぽから満タンにするまでの充電容量（車種依存）の平均値） $\times$ （配電間隔）、が最低限となる。

- インターネット+クラウドとの違い

町規模のエリアを移動中の電気残量が少ない EV/PHV の電気残量情報を解析し、その情報を基に周辺サービスステーション店舗情報を消費者に提供する場合、それらの情報はローカル（すなわちその町中）でのみ必要である。すべての処理をインターネット+クラウドで行なった場合と比較して、地産地消を促進することでネットワークの輻輳と電力消費過多を防ぐことができる。当然、アクセス時間の短縮にも貢献する。また、送配電設備への配電容量の必要量の通知に関しても、クラウドからインターネット経由で送るのではなく、ローカルのエッジノードでネットワーク内処理をして、そのまま最寄りの送配電設備に送るようにすることで、ネットワークのトラヒック量削減に貢献できる。

- 既存の EV 関連サービスとの違い

例えば、日産自動車のリーフの EV-IT システムでは、1 車両内において、目的地到着時のバッテリー残量予測や、航続可能距離表示、バッテリー残量での到達予想エリア、ルート周辺の充電スポット案内、充電スポットの満空情報表示、充電すべきタイミング（充電スポット検索含む）のサポート、等が可能である。提案技術は、上記既存システムと共通する点があるものの、相違点として、あるエリア内で移動中の全ての車両から集めた情報を最寄りエッジノードで解析および加工し、同エリアの車両にブロードキャストで情報提供したり、各サービスステーション店舗に効率的に送配電したりする点を特長とする。また、車両への提供情報についても、あるエリアを移動中の全車両から集めた電気残量情報を基にサービスステーション店舗混雑を予測したものである点が異なる。

A.3. コンテンツ流通

A.3.1 ライブコンテンツ配信

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届ける情報流通ネットワークモデルとして、利用者毎にカスタマイズされた広告配信として効率的なコンテンツ配信を行う機構を提案する。

- 全体構成（図 37）

利用者毎にコンテンツ配信を効率化、配信先限定コンテンツなどの、ライブ情報を取得可能とする。

リアルタイム性が要求される動画ストリームを複製データ保存機能向けに1種類のストリームとして配信する。視聴者はネット内処理機能によって、端末ごとに最適化されたストリームに変換された映像を取得する。特定のエリアにいる利用者向け限定コンテンツを、ネット内処理機能を通じて認証、復号化を行った後に配信する。

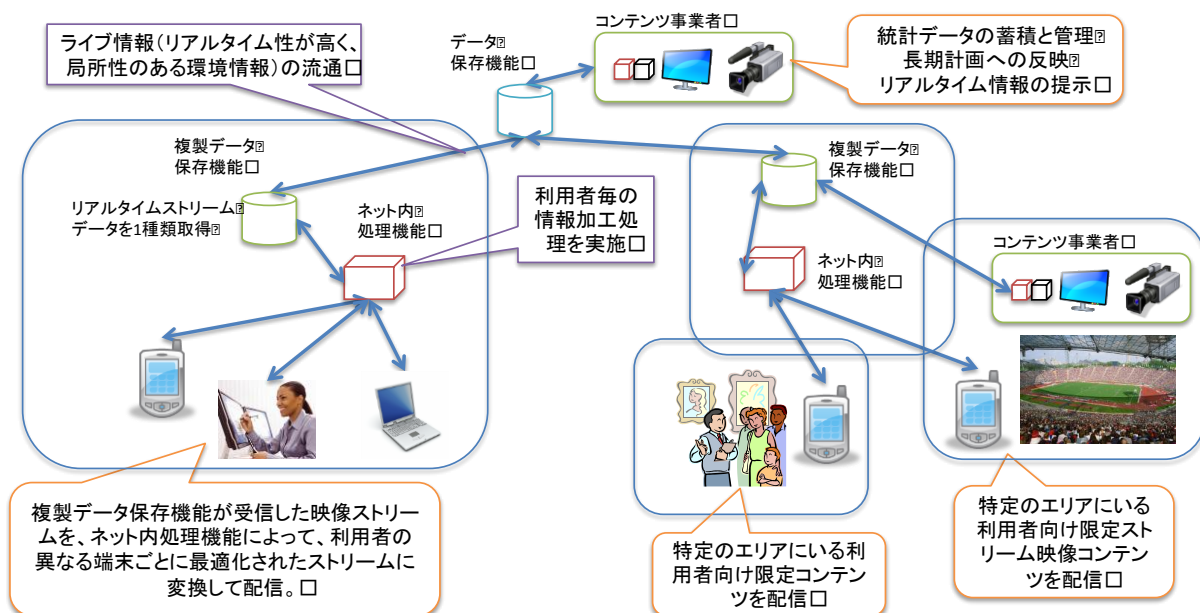


図 37. ライブコンテンツ配信全体構成。

- ステークホルダ

- サービスプラットフォーム提供者
 - － イベント主催時の映像コンテンツや、コンテンツホルダから取得した情報を加工し効率的に消費者に配信するためのコンテンツの流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する
- コンテンツホルダ（イベント主催者）
 - － イベントに関する映像コンテンツを生成して加工し、ユーザに加工されたコンテンツを提供する。イベントの魅力を高めることによって、イベント集客力や参加者収入の増加、継続的なイベント参加を促進する
- 通信事業者
 - － プラットフォーム構築に必要な回線を提供する
- ユーザ1（コンテンツ事業者）
 - － 消費者に対して限定映像ストリーム、マルチビュー映像配信といったサービスを提供する
- ユーザ2（集客を必要とする事業者）
 - － 映画館、美術館、博物館、コンビニエンスストア、地域ブランドアンテナショップなど、消費者の集客による入場料の増収、付随する商品の販売増などを目的としてコンテンツサービスを提供する

- 期待される効果

コンテンツ配信を効率化するために、利用者が保持する端末毎に最適化されたストリームとして利用者を収容するネット内処理機能から配信する。これにより、複数の映像ストリームを利用者毎に配信する必要がなくなり、利用者の視聴要求が集中した場合においても、高品質の映像ストリーム配信を可能とする。また、特定のエリアにいる利用者向けの限定映像ストリーム、限定コンテンツの配信、利用者毎にカスタマイズされたマルチビュー映像配信といったライブ情報の提供を可能とする。

- 市場規模・経済効果

利用者 3 万人規模の BtoC 電子商取引事業者当たりの販売促進効果、6000 万円の売上増。利用者あたりの電子商取引利用額 1 万円として、利用者あたりの販売促進効果 20%の改善により、3 万人×1 万円×20%=6000 万円と算出した。

(参考) 平成 23 年度我が国情報経済社会における基盤整備(電子商取引に関する市場調査)、平成 24 年 2 月、経済産業省 [57]

BtoC-EC 市場規模は、8 兆 4,590 億円(対前年比 108.6%)に。成長はやや鈍化。EC 化率は、0.37 ポイント増の 2.83%(対前年 0.37 ポイント増)。BtoC-EC 市場規模の拡大に寄与した業種として、「医薬化粧品小売業」(対前年比 134.6%)、「衣料・アクセサリ小売業」(対前年比 128.6%)、「食料品小売業」(対前年比 122.0%)などの業種の対前年比が大きく、順調な成長を遂げている。

平成 23 年通信利用動向調査、平成 24 年 5 月 30 日、総務省 [58]。

- 構成要素

コンテンツ：

マルチビューストリーム映像、限定コンテンツ情報

生成者 1 (マルチビューカメラ)：

イベント会場内に設置されたマルチビューストリーム配信を可能とする複数の映像配信カメラ。イベントに参加した利用者のスマートフォン等の携帯端末でストリーム情報の受信が可能となっている。マルチビューストリーム映像が複製データ保存機能に送出される。

消費者 1 (イベント参加利用者：マルチビュー映像視聴者)：

イベント参加利用者のスマートフォン等の携帯端末でストリーム情報の受信が可能となっている。マルチビューカメラ映像を、利用者が適宜選択することによって、所望のカメラ映像を切り替えながら視聴する。

消費者 2 (イベント参加利用者：エリア限定コンテンツ情報受信者)：

イベント参加利用者のスマートフォン等の携帯端末で情報の送受信が可能となっている。事前に取得した利用者の嗜好情報、イベント参加時の情報取得状況からカスタマイズされたエリア限定コンテンツ情報を選択的に配信する。

複製データ保存機能：

生成者 1 から送られた情報を保存する。

ネット内処理機能：

複製データ保存機能に保持された情報を、消費者に送出する前に、消費者の利用形態に応じた情報加工処理を行った後送出する。

サービス制御機能：

生成者 1 からの情報を適切な複製データ保存機能に導いたり、複製データ保存機能からネットワーク内処理された情報を消費者や生成者 3 に送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能

イベント参加者を対象として、複製データ保存機能を送受するトラフィック量の見積りを行う(図 38)。

下記的前提条件(図 39)の場合、複製データ保存機能とネット内処理機能を経由して利用者に配信されるストリームのトラフィック量はピーク時に約 10Gbps

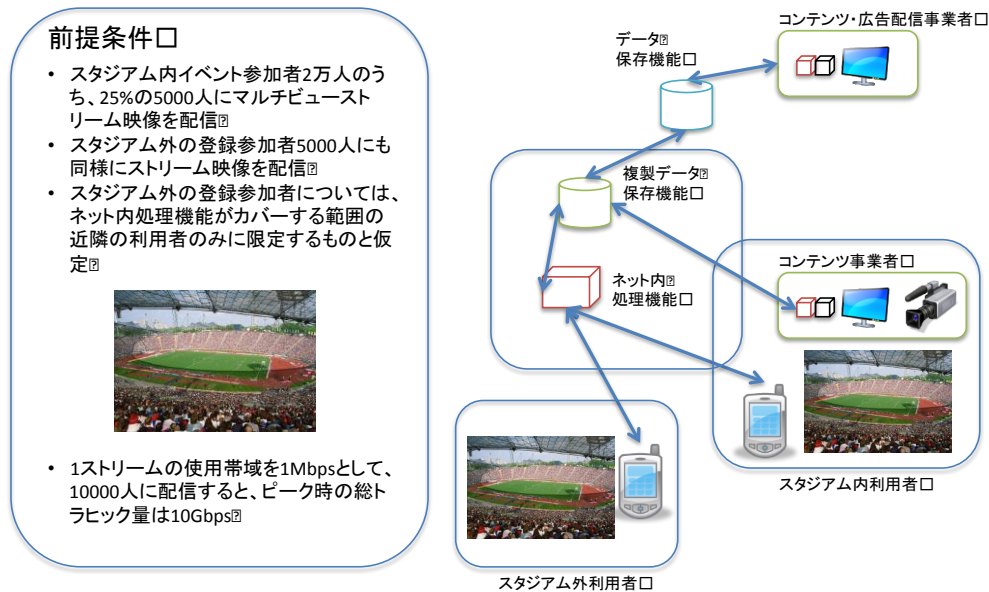


図 38. ライブコンテンツ配信におけるトラフィック量見積り.

イベント参加利用者を対象として、端末と複製データ保存機能に必要とされる処理機能、データの流れについて一例を示す

下記の前提条件の場合、マルチビュー映像ストリームを複製データ保存機能内の受信機能要素で受信する。利用者嗜好を分析した広告選択機能要素から、カスタマイズストリーム生成機能要素への指示により、リアルタイムにカスタマイズデータストリームをネット内処理機能から送出する。ネット内処理機能のマルチビューストリーム送出・制御機能要素は、カスタマイズされたマルチビューストリームを利用者に送出する。

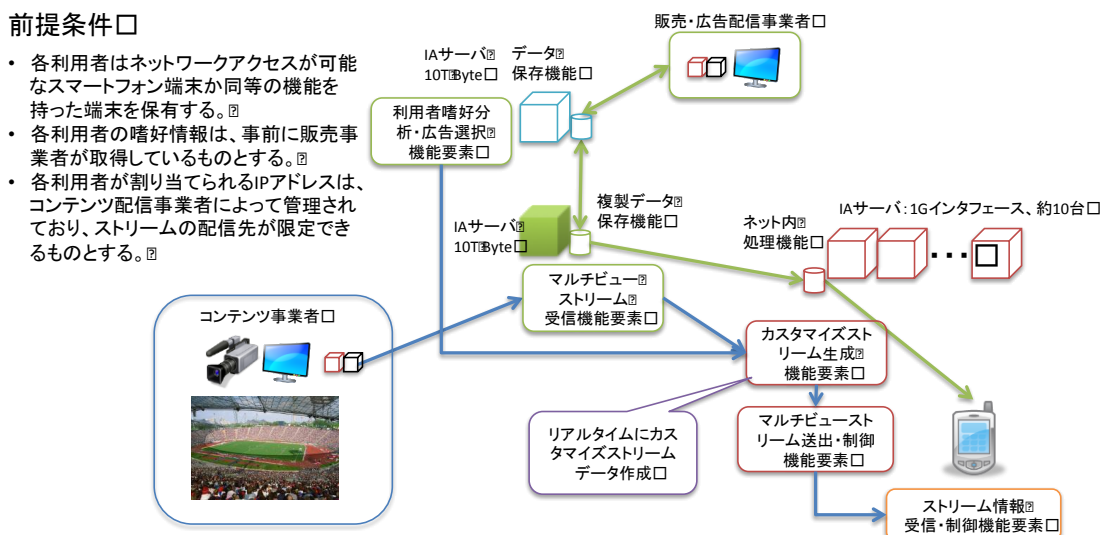


図 39. ライブコンテンツ配信トラフィック量推定における前提条件.

● インターネット+クラウドとの違い

利用者が要求するコンテンツ情報にはイベント開催時などでは局所性があり、情報をクラウドサーバで一括して保持する場合に比べて、分散配置された複製データ保持機能を利用する場合の方が、ネットワーク帯域の利用効率が高く、全体の消費電力量も削減可能となる。さらに、利用者の端末に合わせて最適化したストリーム配信を行うためには、分散配置されたネット内処理機能を利用する場合の方が、処理効率が高い。また、情報処理のリアルタイム性、イベント進行状況や利用者に特化した最適情報処理が必要となることから、クラウドサーバで一括して処理する場合に比べて、分散配置されたネット内処理機能を利用する場合のほうが、ピーク時間帯においても十分な処理能力を配備することが可能となる。

A.3.2 デジタルサイネージ

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届ける情報流通ネットワークモデルとして、ユーザがアクセスしたコンテンツのキャッシュ情報を解析し、周辺のデジタルサイネージに対して最も訴求効果の高い広告を配信するサービスを提案する。

- 全体構成（図 40）

来店客は、ネット上にある様々なコンテンツ（動画、Web ページ等）を視聴する。それらのコンテンツは店舗の近くの複製保存機能にキャッシュされる。複数の店舗はコラボレーションして、互いの来店客を協力店へ誘導する広告をサイネージに表示させる。店舗は自店の広告をデータ保存機能に登録しておく。ネット内処理機能は、店舗の客が残したキャッシュから、客の現在の好みを推測し、最もマッチする広告をデータ保存機能から検索する。その後、店舗のサイネージに対して広告を配信し表示させる。

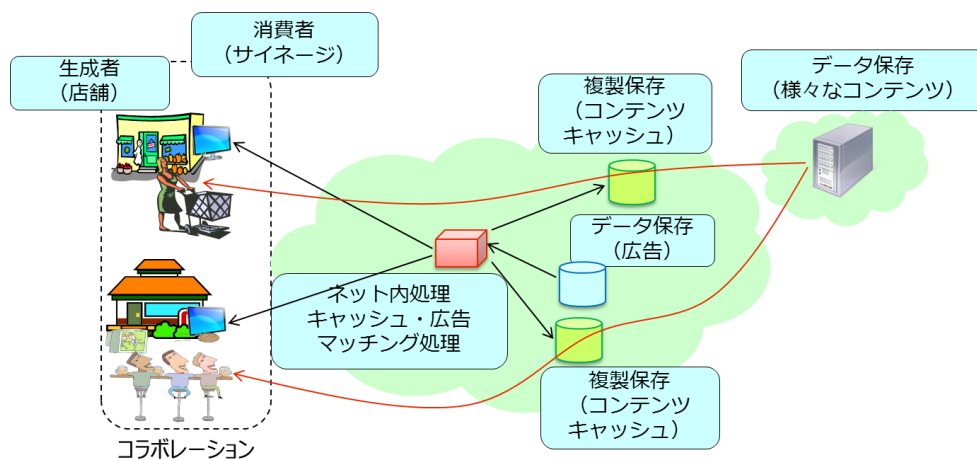


図 40. デジタルサイネージ全体構成.

- 期待される効果

ローカルに保存されたキャッシュ情報に基づき、周辺に存在する潜在顧客の嗜好を分析することで、最適な広告を表示して集客力の向上が期待できる。

- ステークホルダ

- 店舗
 - ◇ コンテンツ（広告）、実サービス（イベント、割引など）を提供する
- ネットワーク事業者
 - ◇ 通信回線、ストレージ、ネット内処理資源などを提供する
- サービス企画・提供事業者
 - ◇ 消費者の行動を解析し、複数の店舗をコラボによる相乗効果を提案し、サービス構築を行う

- 市場規模・経済効果

- デジタルサイネージ市場規模 938 億円（2010 年度推定） 2016 年には 1 兆 2634 億円と予想[59]
- デジタルサイネージ広告市場 190 億円（2010 年見込み） 2015 年予測は 770 億円[60]

- 構成要素
 - コンテンツ：
 - 広告
 - 来店客が視聴したコンテンツのキャッシュ
 - 生成者：
 - 店舗（広告）
 - 来店客（キャッシュ）
 - 消費者：
 - サイネージ
 - データ保存機能：
 - 店舗が登録した広告を保存する。
 - 来店客がアクセスしたコンテンツのキャッシュを保存する。
 - ネットワーク内処理：
 - キャッシュ情報から来店客の好みの属性を推定し、最もマッチする広告を登録された中から選択。店舗のサイネージに送信し表示させる。
 - サービス制御機能：
 - 生成者からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、消費者へ適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能
 - 広告ひとつのサイズ HD 動画 $12\text{Mbps} \times 30 \text{秒} / 8 = 45\text{Mbyte}$

 - 1 店舗は、状況（朝、昼、夜、平日、金曜、休日など）に応じて 10 種類の広告を用意するとする。
データ保存機能ひとつにつき 1000 店舗とすると、サイズは以下となる。
 $1000 \times 45\text{Mbyte} \times 10 = 450\text{Gbyte}$

 - ネット内処理が送信する広告の通信負荷は、 $1000 \text{店舗} \times 12\text{Mbps} = 12\text{Gbps}$

- インターネット+クラウドとの違い
 - ネット内処理は、周囲のサイネージにのみ配信すればよいため、ネットワーク負荷が軽減される。

A. 3. 3 AR (Augmented Reality)

- はじめに

本節では、センサ、カメラ、モバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届けるライブ情報流通ネットワークモデルとして、スマートフォンなどのモバイル端末やメガネ型の端末に対して、現在地に応じた刻一刻と変化する情報を送信し、現実に見えているものにオーバーラップさせるサービスを提案する。

- 全体構成（図 41）

AR は、実際に液晶画面に投影された周囲の映像に対して、各種情報をオーバーラップさせることによって、ユーザから見た世界を拡張する技術である。このため、ユーザが消費する情報は、周囲の環境にマッピング可能な情報であるため、身近にあるネット内処理機能や複製データ保存機能を活用することにより、基幹ネットワークのトラヒック削減ならびに、通信の局所化によるスケーラビリティの確保、応答遅延時間の短縮によるユーザーエクスペリエンスの向上が可能となる。

本サービスのユースケースとしてはいくつかあるが、1 つは情報提供者（生産者 1）が作成した情報を消費者に配信するケースが考えられる。この時の情報は、デジタルサイネージや、交通情報や気象情報などが考えられる。この場合、データ保存機能に蓄積された情報は、その情報が消費される地域に最も近い複製データ保存機能に蓄積され、そこからユーザに送信される。また、情報提供者（生産者 2）が自分の周囲の消費者に情報を発信したいケースも存在する。たとえば、店舗がセール情報を周囲のお客さんに広告するような場合である。この場合、店舗から複製データ保存機能に情報をアップロードし、そこから消費者に直接送信することで、通信の局所化が可能となる。必要な場合はその情報をログデータとして通信が輻輳しない時間帯にデータ保存機能に保存することも可能である。

さらに、AR はコミュニケーションツールやゲームのツールとして、活用されることも予想される。すなわち、消費者が情報提供者（生産者 3）を兼ねる場合である。この場合、生産者 2 のユースケースと同様に複製データ保存機能とネット内処理機能を利用することにより、通信の局所化と応答遅延時間の軽減が期待できる。

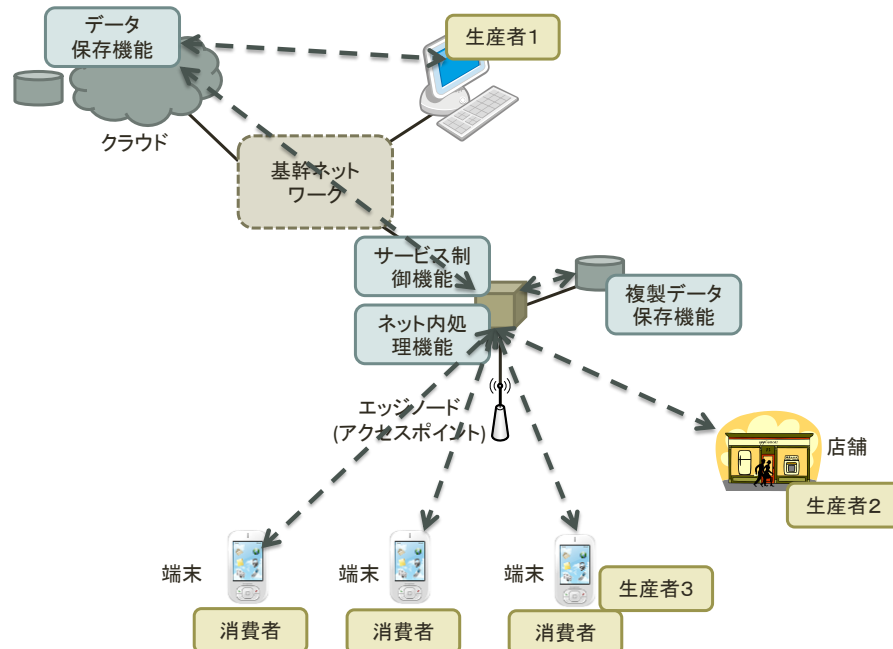


図 41. Augmented Reality 全体構成.

- ステークホルダー

- ・ サービスプラットフォーム提供者

情報提供者から収集した情報を元に、AR を用いた情報を消費者に提供するために、消費者が滞在している位置に基づいた情報を通知する。また、情報提供者からのリアルタイムな情報の更新に対応し、逐次更新した情報を消費者に通知する。情報提供者（生産者 1）がプラットフォーム提供者となるケースや、通信事業者が提供者となることも考えられる。

- ・通信事業者
プラットフォーム構築に必要な回線を提供する。サービス制御機能、ネットワーク内処理機能、複製データ保存機能を通信事業者が提供する場合と、回線のみを提供する場合が考えられる。
- ・情報提供者（生産者 1、生産者 2）
環境にマッピングするための情報を提供する。
- ・ユーザ（消費者、生産者 3）
情報を受け取るもしくは、自身の状況を発信する。

- 期待される効果
 - ・基盤となるネットワーク機能を提供することにより、AR サービスの普及につながり、より分かりやすい情報の提供を消費者が受けることができる。

- 市場規模・経済効果
国内市場規模としては、AR 活用サービス市場として 2009 年は 200 億円であり、2015 年には 1800 億円まで伸びる事が予想されている[61]

- 構成要素
 - 生産者 1（情報生成）：
サービスプロバイダ。環境にリンクした情報を発信する
 - 生産者 2（情報生成）：
店舗など。周囲の消費者に通知した情報を発信する。
 - 生産者 3（情報生成）：
ユーザ。コミュニケーションとして自分の状況を発信したり、ゲームなどで自分の行動を発信する。
 - 消費者：
生産者から提供された情報を、自分の周囲の環境にマッピングした状態で受持する。
 - データ保存機能：
クラウド。生成者から送られた情報を保存および管理する。
 - 複製データ保存機能：
エッジノード（アクセスポイント）のストレージ。データ保存機能に保持された情報から、エッジノード周辺の情報を保持する。
 - ネットワーク内処理機能：
ゲームや、コミュニケーションなどリアルタイム処理が必要な場合、各生産者から生成された情報を元に処理を行い、その結果を消費者に返す。
 - サービス制御機能：
消費者からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、複製データ保存機能からネットワーク内処理された情報を消費者に送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

- ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能
最も負荷がかかるのは、リアルタイムな処理を必要とするアクション性の高いゲームへの AR の適用であると考えられる。1つのネットワーク内処理機能で処理すべき人数を 1,000 人として 30fps で動作するゲームを考えると、30,000 パケット/秒の処理が必要となる。
さらに、ゲームで課題となるのが伝送遅延である。たとえば、nVidia[62]によるとユーザの操作から画面表示までのレスポンスは 150ms でのレスポンスが求められており、その時ネットワークに許される伝送遅延は 50ms 以下である。

- インターネット+クラウドとの違い
AR など拡張現実、ユーザの動きに合わせた早いレスポンスが求められる。このため、クラウドによる既存の構成では伝送遅延が問題となる。これに対して、ライブ情報流通基盤はネットワーク内で処理することにより、伝送遅延を最小化可能である。
またクラウドで実施する場合、携帯電話ユーザ 1.2 億人に対して施設情報 1000 万件[63]の情報を位置に応じて展開する必要があるが、ライブ情報流通基盤は、通信の局所化を可能とするため、サーバ側の負荷を軽減することができる。

A.3.4 大人数参加型オンラインロールプレイングゲーム

- はじめに

本節では MMORPG（大人数参加型オンラインロールプレイングゲーム）と呼称される大人数が参加するオンラインゲームに、ライブ情報流通ネットワークを応用し、従来以上のリアルタイム性や高画質を提供することを提案する。

● 全体構成 (図 42)

MMORPG では、ゲームサーバにおいて全ての情報が管理されゲーム世界を提供し、プレイヤーがゲームサーバにログインすることで、ゲームに参加できる。ゲーム内には他のプレイヤーも同時に参加し、何らかのミッションをコミュニケーションを図りながら共同で達成したりする。複数のプレイヤーが同時に参加しコミュニケーションをとるため、そこには社会性が存在し、場合によっては、いざこざが起きることもある。現在 MMORPG をクラウドから提供しようという試みがなされている。クラウドゲームになれば、グラフィック処理などの高度な演算をクラウド側で行うことも可能であるため、プレイヤーが高性能なゲーム機を必ずしも用意しなくてもよくなる。

ここでは更に MMORPG をライブ情報流通ネットワークを用いて構築することを考える。

時々刻々と送出されるデータには二種類あり、一つはこれまで同様、ゲームサーバから提供されるゲーム世界の変化(時間、地形等)で、もう一つは自分や他のプレイヤーの操作によるプレイヤーの状態の変化である。後者は従来の多くのシステムでは一旦全部サーバに集めてから再配信されるが、ライブ情報流通ネットワークを利用することで、プレイヤーの状態変化をプレイヤー間で直接やり取りすることが可能となる。これにより従来以上のリアルタイム性を実現することができる。ただし必要であれば情報の不整合を起さないためにデータ保存機能を持つサーバにもプレイヤーの状態変化は同時に通知しておく。

マップデータなどはサーバから配布されるが、ライブ情報流通ネットワークの複製データ保存機能を活かして、プレイヤは近くの複製データ保存機能から情報提供を受けることができ、移動したときなどに必要となるマップデータ取得時間を短縮できる。またマップデータだけでは無く高画質 3D であるゲーム画面自体を予めサーバで生成しておき、複製データ保存機能を利用し配布することで、高画質 3D ゲーム画面をそれ程画像処理能力が高くない端末においても再生できるようになる。

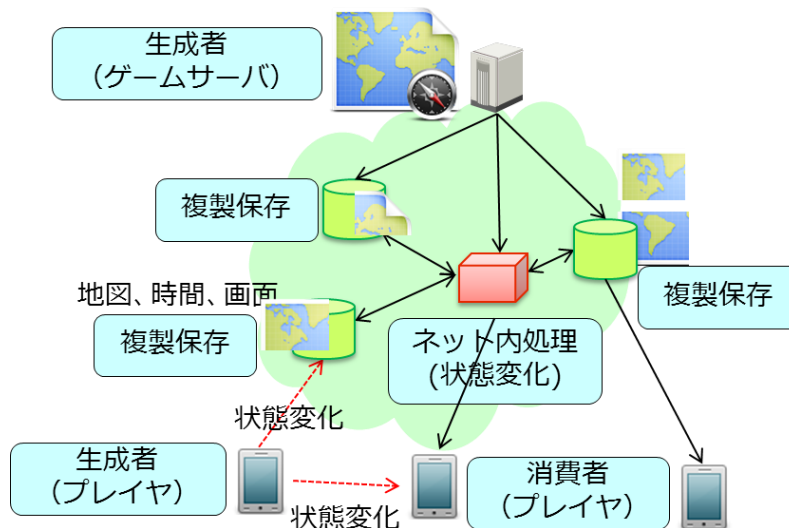


図 42. オンラインゲーム全体構成.

- ステークホルダ

- ・ ゲーム事業者

MMORPG のゲームシステムを構築し、ゲーム世界をプレイヤに提供する。マップデータ管理、プレイヤのアカウントと状態管理、高画質 3D ゲーム画面の生成などを行う。一部のデータはプレイヤ間で直接やり取りもされるが、それらのデータも必要であればサーバには別途通知され蓄積される。

- サービスプラットフォーム提供者

ゲーム事業者が生成するマップデータや高画質 3D ゲーム画面等をキャッシュする機構、またプレイヤ同士が直接情報を交換する機構を持つプラットフォームを構築し、ゲーム事業者及びプレイヤに提

供する。

- 通信事業者

プラットフォーム構築に必要な回線を提供する。

- ゲームプレイヤー

ゲームに参加しゲーム世界というコンテンツを消費すると共に、自身のプレイヤーの状態変化という情報を提供する。

● 期待される効果

本提案では、リアルタイム性が高く高画質の MMORPG を提供するが、高機能な端末を必要とはしない。これにより高性能 PC や専用ゲーム機を用意しなくてもスマートフォンさえあれば MMORPG に参加でき、プレイヤーの裾野を広げることができる。

またゲーム事業者も自身がプラットフォームを構築する必要が無いため新規参入が容易となる。

● 市場規模・経済効果

日本オンラインゲーム協会によると、国内の 2011 年オンラインゲーム市場規模は 1405 億円、ソーシャルゲーム市場 2794 億円である。

● 構成要素

生成者 1 :

ゲームサーバ。ゲーム世界の変化(時間、地形等)を送出する。

生成者 2 :

プレイヤー端末。プレイヤーが操作することによる状態の変化を送出する。

消費者 :

プレイヤー端末。生成者から提供された情報を、自分の周囲の環境にマッピングした状態で受持する。

データ保存機能 :

ゲームサーバ。生成者から送られた情報を保存および管理する。ゲーム世界の変化(時間、地形等)を保持する。

複製データ保存機能 :

エッジノード(アクセスポイント)のストレージ。リアルタイム性を増すためにデータ保存機能に保持された情報(地図情報や高画質画面、生成者から集めたプレイヤーの状態変化)から、エッジノード周辺の情報を保持する。

ネットワーク内処理機能 :

消費者からの情報要求に応え、リアルタイム性を増すために、各生成者から生成され、直接あるいはデータ保存機能から送出された属性情報と制御情報を元に処理を行ない、その結果を消費者に返す。

サービス制御機能 :

生成者が発した情報や消費者からの情報要求を適切な(複製)データ保存機能に導いたり、(複製)データ保存機能からネットワーク内処理された情報を消費者に送付したり、データ保存機能間の情報の流通をしたりなどの制御を実施する。

● ネットワークモデルと要求されるネットワークシステム性能

単一世界に対して多数のプレイヤーが JOIN するタイプのゲームで長年世界一のユーザ数を誇っているゲームとして米国ブリザード社の World of Warcraft を挙げることができる。2008 年ごろのピークの時期には中国だけで 100 万人が同時接続したという記録も残っている[64]。

実際にはこれらの 100 万人は複製され分離した複数の世界に分かれて参加しているが、もし可能であれば 1 つのゲーム空間に約 100 万人が接続する需要が存在することを伺い知ることができる。また一般的に MMORPG は遅延を許容した作りにせざるを得ず、ゲームデザインに対して大きな制限となっている。

そこでここでは、ゲームデザインに対して制限を与えないレベルの遅延で MMORPG を設計可能なインフラの要求について検討する。具体的にはリアルタイムな処理を必要とする AR を用いたアクション性の高いゲームを想定する。

ゲーム世界データの情報保存処理装置がインフラ内に存在し重要に応じて利用できるならば、一定のプレイヤー数で装置を借り受けることにすれば、プレイヤーの増加数に対して適切な数の情報保存処理装置を用意

できることになる。

そこでゲーム世界への参加人数を 100 万人とし、各自が相互作用を及ぼす距離にいる他のプレイヤーの人数を 1000 人程度と想定して、その 1000 人で一つの情報保存処理装置を借り受けることとする。

ここで 30fps で動作するゲームを考えると、情報保存処理装置 1 つで処理すべき人数は 1,000 人であるから、一人当たりフレームごとに 1 パケットのデータを送出するとして、30,000 パケット/秒の処理が必要となる。

さらに、ゲームで課題となるのが伝送遅延である。たとえば、nVidia[62]によるとユーザの操作から画面表示までのレスポンスは 150ms でのレスポンスが求められており、その時ネットワークに許される伝送遅延は 50ms 以下である。

- インターネット+クラウドとの違い

クラウドサーバ相当のゲームサーバも用意されるが、クラウドのように全てのデータをサーバに集めてから処理をするのではなく、個々のプレイヤー同士でも操作データ等プレイヤーの状態変化を P2P で交換する。従来のオンラインゲームにおいてもこのような P2P 的なデータ交換をするものは存在するが、ライブ情報流通ネットワークという他の用途にも利用される信頼性の高いインフラが悪意のあるノードを排除するなど P2P 通信を補助することによって、よりタイトに構造化された P2P ネットワーク構造を用いることができ、P2P の通信効率が向上することが期待される。

A.4.1 交通情報システム

- はじめに

本節では、センサ、カメラ、モバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届けるライブ情報流通ネットワークモデルとして、路上を走行する車両や交通インフラの情報を活用して安全且つ効率的な交通システムを実現する機構を提案する。

● 全体構成 (図 43)

路上を走行する車両の車載器（カーナビ、車載センサ、車載カメラなど）と交通インフラ（路上カメラ、路上センサ、信号機など）から得られる情報に基づいて、交差点レベル、道路レベル、都市レベル、全国レベルの情報をリアルタイムで収集・活用することで安全且つ効率的な交通システムを実現する。

各種機器によって生成された情報は、ネット内処理機能にて処理され、必要に応じて車両や交通インフラに対して情報配信を行う。以下に例を示す。

- ・ ネット内処理機能は、事故発生時に車載器や交通インフラによって事故の時刻、車両、位置、走行履歴を特定し、その情報に基づいて事故の関連情報を車両カメラや路上カメラから収集したデータ保存機能のアーカイブからリアルタイムに抽出し、警察署、警察車両、緊急病院、緊急車両、道路交通センタ、などに送付する。また、ネットワーク内情報処理ノードから事故現場周辺の標識標示機やカーナビに注意喚起のメッセージを送付する。
- ・ ネット内処理機能は、渋滞時に車載器や交通インフラによって車両台数、走行履歴、移動先を基に統計処理を行い渋滞情報（混雑箇所、混雑度合、原因、所要時間など）を生成し、道路交通センタ、警察車両、緊急車両、標識標示機などに渋滞情報を送付する。

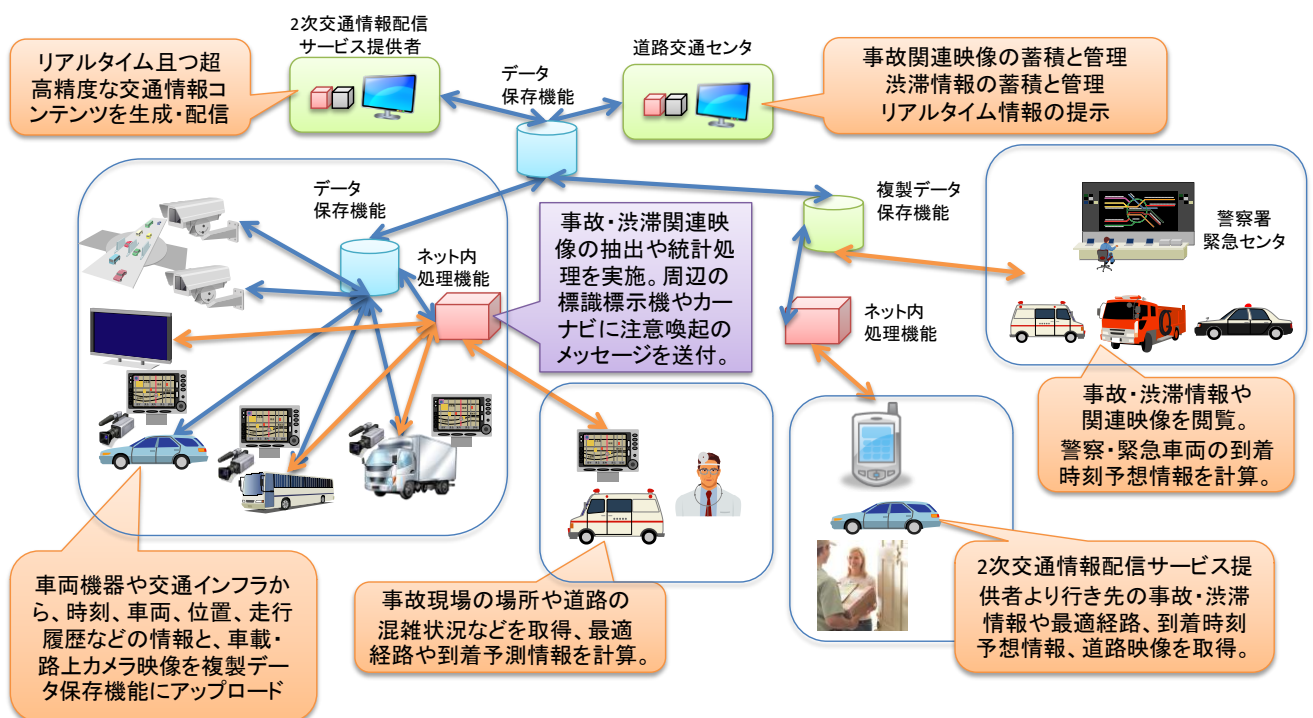


図 43. 交通情報システム全体構成.

- ステークホルダ

- ・ 情報サービス提供者（例：道路交通センタ）
 - － 交通インフラを整備し、交通情報流通サービスを提供
 - － サービス提供料は利益を享受する２次情報サービス提供者やユーザから徴収

- 2次情報サービス提供者（例：交通情報配信サービス提供者）
 - － 情報サービス提供者が提供する交通情報や、第2種ユーザのBYODから取得した情報を用いて、高付加価値な2次情報を作成し、コンテンツとして配信
 - － サービス提供料は利益を享受するユーザから徴収
- 通信事業者
 - － プラットフォーム構築に必要な回線を提供
- ユーザ（警察署、緊急センタ、一般旅行者、公共交通サービス事業者）
 - － 交通情報を用いて効率的な経路選択やプランニングを実施
- 第2種ユーザ
 - － 自分の機器（スマホのカメラ、カーナビ）からの情報を2次サービス提供者に提供
 - － 2次情報サービス提供者のサービスを利用

● 期待される効果

車両や交通インフラから発生する大量の交通情報を効率的に収集、サービス提供に必要なネットワークやサーバの負荷を低減しつつ、リアルタイム且つ高精度の交通情報をユーザに提供する。これにより、事故に対する初動が正確且つ迅速になり、被害の低減や2次災害の防止に寄与する。また、精度の高い渋滞情報によってユーザの経路最適化や旅程調整による渋滞の大幅な緩和に寄与する。

● 市場規模・経済効果

交通インフラ市場の例として、ITS 国内市場（累計）は2010年30兆円から2020年100兆円まで拡大する（2020年単年は8兆円程度）予測がある[65]。

● 構成要素

コンテンツ：

交通情報（車両の位置や走行履歴、車載カメラや路上カメラの映像など）

生成者：

車両機器（カーナビ、車載カメラ、車載センサ）やユーザのスマホなど。道路交通センタなどが設置した路上カメラやセンサなどが、交通情報を常時アップロードする。

消費者：

警察署、緊急センタ、一般車両ユーザなど。

データ保存機能（交通インフラの路上機器設置箇所の装置、道路交通センタの装置）：

生成者から送られた交通情報をネットワーク内（交通インフラの路上機器設置箇所など）で保存する。

また、ネットワーク内処理機能にて選別または加工された情報はセンタの装置にて保存する。

複製データ保存機能（交通インフラの路上機器設置箇所の装置）：

データ保存機能から配信された情報の内、その場所に関する情報を複製して保存する。

ネットワーク内処理機能（案内所、ホテル）：

生成者からの交通情報の中から、交通事故や渋滞箇所に関連する車両情報や映像を割り出して、センタに送信すべき情報や、周辺に配信すべき情報を選別する。また、交通情報の統計処理や映像の加工処理を行い、各ユーザに適した情報を作成する。

サービス制御機能：

生成者からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、消費者の要求に対して適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。

● ネットワークモデルとネットワークシステム性能

車載センサ、車載カメラなど：1車両あたり車載センサは10秒間隔で5種類の1KB情報（＝4Kbps）、車載カメラは300Kbpsの映像を生成。全国で車両が約8000万台、最繁時ではその内2%（＝160万台）が交通インフラを走行して情報をアップロードする対象車両。合計486Gbpsのトラフィックが生成される。

路上センサ、路上カメラなど：1路上装置（センサ+カメラ）あたり車載センサや車載カメラと同様のトラフィック（304Kbps）を生成。全国で約10万台の路上装置を設置。ネットワーク内装置：路上装置100台あたり1台のネットワーク内処理機能を配置（全国で1000台）。合計30Gbpsのトラフィックが生成される。

- インターネット+クラウドとの違い

- ・ 地産地消：交通データはデータの生成場所に近い車両ほど、よりリアルタイム且つ精度の高い情報が必要となるため、ネットワーク内の処理および転送が必要になる。一方、特定の事故や渋滞に関連する情報はネットワーク内で選別した上で、センタに転送する必要がある。また、広範囲なエリアに跨る統計情報は、センタに全てをアップロードすると大量のトラフィックとサーバ処理量になるため、ネットワーク内で統計処理を行ったうえで、センタに転送する必要がある。以下ではトラフィック、遅延、信頼性に観点で整理する。
 - － トラフィック：全てのデータをセンタにアップロードせずに、必要な情報を選択してセンタにアップロードしたり、直接周辺の車両などに転送することで、また統計処理を行ったうえでセンタに転送することで、ネットワーク内のトラフィックやセンタのサーバ負荷を低減する。
 - － 遅延：事故や渋滞の情報は周辺車両には、迅速に標識標示機やカーナビの注意喚起表示を行う必要があるため、センタにアップロードせずに、ネットワーク内で対象の車両に情報を配信する。
 - － 信頼性：事故・災害時にネットワークの断絶や通信品質劣化などが発生しても、ネットワークは局所的にネットワークが動作して正常に情報を取得・配信する必要があるため、ネットワーク内で情報を蓄積・処理する。

A. 4. 2 旅行

- はじめに

本節では、センサやモバイル端末から時々刻々と送出される情報を元に、消費者に価値のある情報を構成して、消費者に届けるライブ情報流通ネットワークモデルとして、移動中に観光地やレストランに関する情報を提供し旅行者の行動決定をサポートすることで有意義な旅行を支える機構を提案する。

- 全体構成（図 44）

旅行者（消費者）が出発地をでて、目的地に行き、旅行を終了する（戻る）までの過程におけるサポートシステムを対象とする。旅行者が、旅行者が訪れる場所の多岐にわたる情報、すなわち、観光やレストランメニューに関わる写真や付属情報を配信し、旅行者の行動決定をサポートする。一方、それらの写真を充実するために、旅行者が撮影した写真や記録したコメントを発信し、ネットワーク内で収集する枠組みを提供し、最新の情報をサーキュレーションできるようにする。

ネットワークが情報をすばやく配信・収集する仕組みとして、観光バス、ホテル、飛行機等の設備にデータ保存機構と配信機構（サービス制御機構）を設置し、消費者が興味を持つ情報を他の設備に流通できる仕組みを形成しておく。現地に近いところほど、最新・詳細な情報を残し、遠隔地にはフィルタしたり加工したりした情報を流通させ、旅行者がいる場所で取得したい情報をなるべくその近傍に配置することで、情報の取得にかかる時間を短くするとともにトラフィック量を減らす。

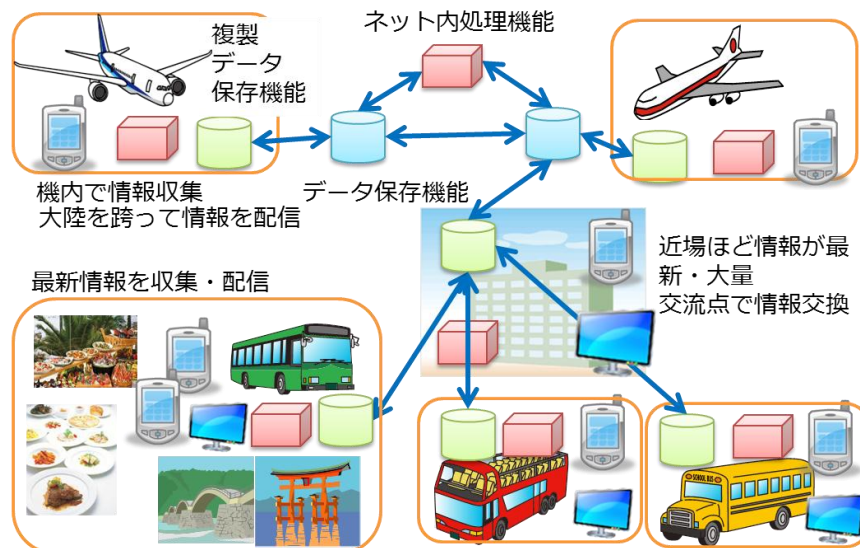


図 44. 旅行情報流通全体構成.

- ステークホルダ

- ・ サービスプラットフォーム提供者
 - － 自身で旅行者（生成者）から取得したコンテンツや、コンテンツホルダから取得した情報を加工し効率的に消費者に配信するためのコンテンツの流通を支えるプラットフォームを構築し「ユーザ」に提供する
 - ・ コンテンツホルダ（ブローカ）
 - － 旅行者（生成者）からコンテンツを収集して加工し、ユーザに加工されたコンテンツを提供する
 - ・ 通信事業者
 - － プラットフォーム構築に必要な回線を提供する
 - ・ ユーザ（旅行代理店）
 - － 消費者に対してバスやホテル、飛行機等での余った時間を有効活用するサービスを提供する
- なお、設備を用意するのは、ユーザ、各設備を持つ事業者、プラットフォーム提供者、いずれの場合も考えられる。

- 期待される効果

消費者の嗜好やその日の気候にあった観光地やレストラン、それを結びつける旅行スケジュールを提示することで期待感を与え、一方、旅行者に対しては自身の履歴を皆に見せるという満足感をあたえることができるので、収集する情報を増やすことができる。プラットフォーム提供者（旅行代理店）はサービスに満足した旅行者の囲い込みに繋げることができる。また、バスや飛行機にそのような機能を設置することで機器が設置された設備を持つ企業の売り上げ増にもつながり、より企業間の連携を強くすることができる。

- 市場規模・経済効果

電通「日本の広告費」2012年版[66]によると、2012年の総広告費は5兆8913億円（前年比103.2%）である。交通・旅行・レジャー業界の2011年の新聞、雑誌、ラジオ、テレビを媒体とする広告費は2112億円。

インターネットWebサイト業界動向サーチ[50]によると、旅行業界規模（主要対象企業9社の売上高）は平成21年で6470億円。ただし前年比成長率はマイナス10.7%。ピークは19年の7700億円。一方、20%増加している法人もある。

- 構成要素

コンテンツ：

風景、建造物や食事の写真（海外にはメニューサンプルがない）

生成者：

旅行者。観光地を訪れた人が撮影した写真をアップロード。同様に、レストランで食事を注文した人が撮影した写真をアップロード。第三者が閲覧する回数や購買に貢献した回数に応じた特典を付けることで、商品販売に直結する価値のあるコンテンツを増やすこともある。

消費者：

旅行者。旅行準備者。

データ保存機能（観光バス、案内所、ホテル、飛行機、旅行代理店の装置）：

生成者から送られた情報を保存する。

複製データ保存機能（観光バス、案内所、ホテル、飛行機、旅行代理店内の装置）：

データ保存機能に保持された情報から、それぞれアクセスする人の嗜好にあわせた情報を複製して保存する。

複製データ保存機能（ブローカの装置）

データ保存機能に保持された情報から、それぞれアクセスする人の嗜好にあわせた情報を複製して保存する。

ネットワーク内処理機能（案内所、ホテル）：

情報を加工する。撮影したときの属性（天候や人数）で情報を括り、消費者のその時にあわせた情報と照合する。

サービス制御機能：

生成者からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、消費者の要求に対して適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。また、コンテンツホルダ（ブローカ）が持つ情報を適宜収集する。

- ネットワークモデルとネットワークシステム性能

観光バスの中ではアップロード、ダウンロードがなされる。バスの乗客が最大40人、一枚1MBの画像を20ファイル、一枚10MBの映像を1ファイルアップロードすると、 $40 \times 30 = 1.2\text{GB}$ のデータがアップロードされる。ダウンロードも同じ程度であることが想像され、複数の観光地を回ると、その双方が同時に、あるいは、複数箇所のアップロードをまとめて行なわれることが想像されるので、短時間に2.4GBのデータの流通が発生する。これらの生成者・消費者と保存装置とを繋ぐネットワークを無線LANあるいは、NFCなどを用いて構築する必要がある。

ホテルでは観光バスに保存されたデータをアップロード／ダウンロードされる。一日の宿泊客が1000人・25台・4箇所の観光地を巡ったバスが利用するとしても $25 \times 4 \times 1.2\text{GB} = 120\text{GB}$ 、人間がいない間に処

理ができれば良いので、通信速度へのインパクトは大きくない。ストレージは例えば直近一ヶ月のデータはすべて保存し、他は、一年前のデータは10%を有用なデータとして残すとする、 $120\text{GB} \times 30 \text{ 日} \times 1.11111\cdots = 4\text{TB}$ 程度のストレージを持つサーバが必要である。他の季節のデータはブローカへマスターデータを渡し、コピーを受け取る場合と、マスターデータを持つ場合とがあるが、後者の場合、10年間データを保存するとして、 $3.6\text{TB} \times 120 \text{ ヶ月} = 432\text{TB}$ のマスターストレージが必要となる。加えて外部の有用なコンテンツを複製保存するストレージが必要となる。

- インターネット+クラウドとの違い

ローカルに集めた観光地やレストランなどの情報の消費には局所性がある。すなわち、より近隣で消費される度合いが高く、最新の情報であれば精度は高くなくても需要があるので、バスやホテル等、近隣のデータ保存機能に情報を保存することで、タイムリーな情報をすばやく提供することが情報の価値を高める。特に飛行機内の情報提供に関しては、飛行機からインターネットへのアクセスは遅延が大きいので、観光地を訪問した消費者の情報を機内に蓄えておくと、逆方向に出発する新たな消費者に対してすばやい情報提供が可能となる。

また、近隣のデータ保存機能から、遍在するデータ保存機能への情報の流通時には、統計情報と組合せて必要な情報に厳選して流通させるなど適切にフィルタをかけ、あるいは、精度の高い情報とすることで、目的地から遠隔にいる消費者が情報を利用しやすいようにする。こうすることで、情報をクラウドサーバで一括して保持する場合に比べて、分散配置された複製データ保持機能を利用する場合の方が、ネットワーク帯域や記憶容量の効率利用を高くでき、全体の消費電力量の削減も可能となる。

A. 4. 3 仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定および追跡システム

本ユースケースは新世代ネットワーク推進フォーラム研究開発戦略 WG の平成 23-24 年度に行った戦略 TG で検討された結果のうち、仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定、具体的には、ネット社会上で発生しているネットいじめや、仮想空間で発生している犯罪等の事象から実世界で発生しうる事象を推定、および追跡システムについて、ライブ情報流通ネットワークを用いた場合の検討を行う。

- はじめに

仮想空間と現実空間における、ヒト・モノ・コンテンツの対応付けを行い、過去・現在・未来における現実空間・仮想空間における 行為の推定を行うことにより、仮想空間での様々なものの動きを把握し、安心して使えるネットワークを提供する。

- 全体構成（図 45）

仮想空間、現実空間の様々なログ、たとえば仮想社会では、個人のソーシャルネットワーク上での振る舞いや、Web サービスの閲覧記録、E-mail の内容、現実社会では現実空間上での個人の振る舞いのログ。映像、音声、GPS データ、温度、体温、脈拍等を収集する「ログ解析」機能、収集したログから、即時性の必要な現象の抽出や、保存・解析に適した形式への変換などを行う「リアルタイム解析」機能、無尽蔵に収集させるデータを効率よく蓄積する「大規模ストレージ」、現実空間と仮想空間の対応づけなど、解析に必要な前処理を実施する「データ加工・マッチング」機能、様々な特徴量を効率よく算出する各種解析機能、現実空間での事象から、その原因となった行動をトレースし原因を判明する「原因追跡」機能、現実空間・仮想空間での事象から、未来の予測を行う「未来予測機能」、予測された未来から、その事象の発生を抑制する方法を解析し、現実空間・仮想空間にフィードバックする「予防システム」、様々な解析結果をわかりやすく可視化する「可視化システム」からなる。これらの各システムおよび機能をライブ情報流通ネットワーク上で実現する場合、ログ収集は複製データ保存機能で実施し、大規模ストレージはデータ保存機能で実施する。その他の機能およびシステムは、ネット内処理機能で実現される。

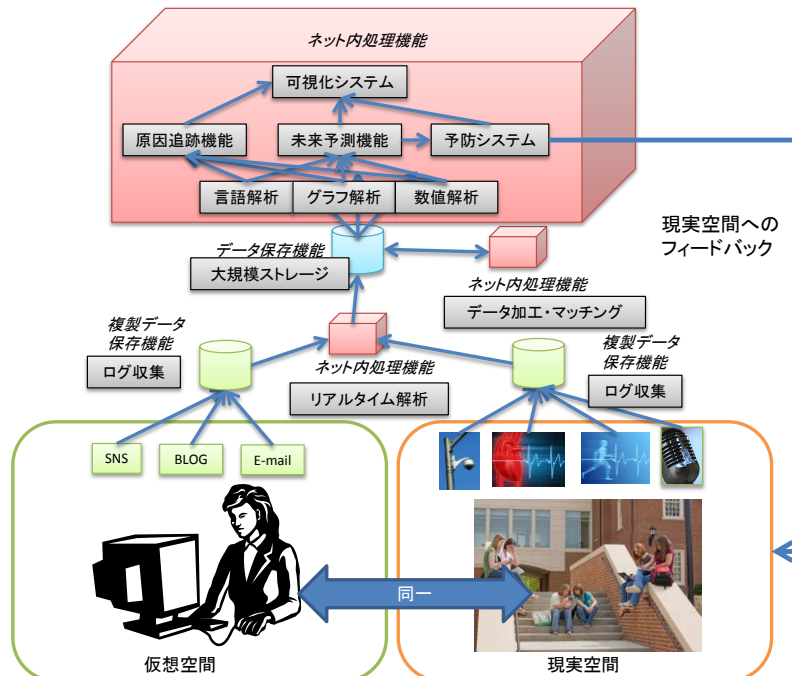


図 45. 仮想空間と実世界との対応付けによる行為推定および追跡システムの全体構成。

- ステークホルダー

- 仮想空間提供者
 - － ユーザに対し、仮想空間を提供しユーザから利用料を徴収
- サービス提供者

- － 仮想空間および現実空間のログを受け取り、それによって現実空間へのフィードバックを行うサービスを提供
 - ユーザ
 - － 仮想空間及び現実空間のログをサービス提供者に与え予防システムからのフィードバックを得る
- 期待される効果

仮想空間と現実空間との関連性から、現実空間で発生した事象の原因を追跡し、仮想空間での動きから将来の事象を予測することにより、ユーザに安心して暮らせる仮想社会と現実社会を提供すること可能となる。
- 市場規模・経済効果

ネット犯罪の防止に繋がる。2010 年の世界の成人のネット犯罪被害者総数は 4 億 3,100 万人で、その金銭的被害総額と時間的費用の世界合計は 3,880 億ドルとなりこれらの減少に資する。
- 構成要素
 - コンテンツ

仮想空間上でのログ：個人のソーシャルネットワーク上での振る舞いや、Web サービスの閲覧記録、E-mail の内容等のログ

現実空間上でのログ：現実空間上での個人の振る舞いのログ。映像、音声、GPS データ、温度、体温、脈拍等あらゆる種別の情報をログとして記録する。
 - 生成者：ユーザ個人、および仮想並びに現実のユーザと関係のあるユーザ
 - 消費者：ユーザ個人
 - データ保存機能（仮想空間上のログを貯めるサーバ、ネットワーク内に分散配置された記憶）：

生成者から送られた仮想空間上のログデータ及び現実空間でのログデータをネットワーク内で保存する。また、ネットワーク内処理機能にて選別または加工された情報はセンタの装置にて保存する。
 - 複製データ保存機能（ネットワーク内に分散配置してマッチングを容易化）：

データ保存機能から配信された情報の内、その場所に関係する情報を複製して保存する。
 - ネットワーク内処理機能：

生成者からの現実及び仮想空間上のログからデータ加工・マッチングを行い、各種解析を施したのち、原因追跡、未来予測等を行う。
 - サービス制御機能：

生成者からの情報を適切なデータ保存機能に導いたり、消費者の要求に対して適切な複製データ保存機能から情報を送付したり、データ保存機能間の情報の流通を行なう。
- ネットワークモデルとネットワークシステム性能

仮想空間上でのログは、アクセス回線とのログであり、ユーザの行動に起因するやりとりされたデータそのものではなく、履歴だけを保存することにより圧縮は可能。ユーザの現実世界のログについては、完全ライフログと同程度のシステム性能と、ユーザと実世界に関連する他のユーザのデータも必要となるためそれをカバーするシステム性能が必要。
- インターネット+クラウドとの違い

全体構成で示したようなネットワーク上の様々なリソースからのログを収集し、仮想空間と現実空間のマッチングすることがこのユースケースの特徴である。仮想空間はクラウド上で実現されるが、現実空間は、場所に紐づけられるため、そのログはユーザの地理的軌跡上に存在する。仮想空間上での行動変化はクラウド内での処理となるが、現実世界での行動予測はリアルタイム性を伴うため、すべての情報をクラウド内で処理するのは困難となる。

A. 1.5 複合要素としてのライブ情報流通ネットワーク

先に示した情報の配信は複数のマーケットを重畳することで、よりインフラを共用し、かつ、マーケットを拡大することが可能である。たとえば、冒頭にも述べたスマート物流と自動車 EMS、交通情報システムの複合要素により、より高品質のサービス提供が可能となる。具体的には以下のとおりである。スマート物流網は、車載カメラ等の情報をネットワーク内のデータ保存機能にアップロードし、ネットワーク内処理機能で加工をすることで、道路の混雑具合をすばやく判断し、運送車両に対して移動経路を指示することでタイムリーな商品流通（集荷と配送）が可能となる。そのプラットフォームの一部に交通情報システムを提供する事業者が整備するインフラを用いれば、より高速の通信インフラを確保するとともに、該当物流事業者の所有していない車両や道路に設置したカメラが発する情報によって、より細かな移動経路選択が可能となり円滑な流通ができる。運送する荷物の管理に留まらず、運送会社が請け負って輸送する多岐にわたる産業の全ての資材の追跡管理や効率的集荷・配送にまで発展させることも可能である。例えば自動車の部品や生鮮食料品の流通管理は現在別の事業者が行なっているが、これらを共通のプラットフォームを用いて提供する新たなビジネス領域が生まれる（図 46）。その際には、兆を超える情報の管理が必須となり、既存のネットワーク拡張よりは、新たなネットワークとプラットフォームを構築する方が運用コストを抑えられるのはいうまでもない。

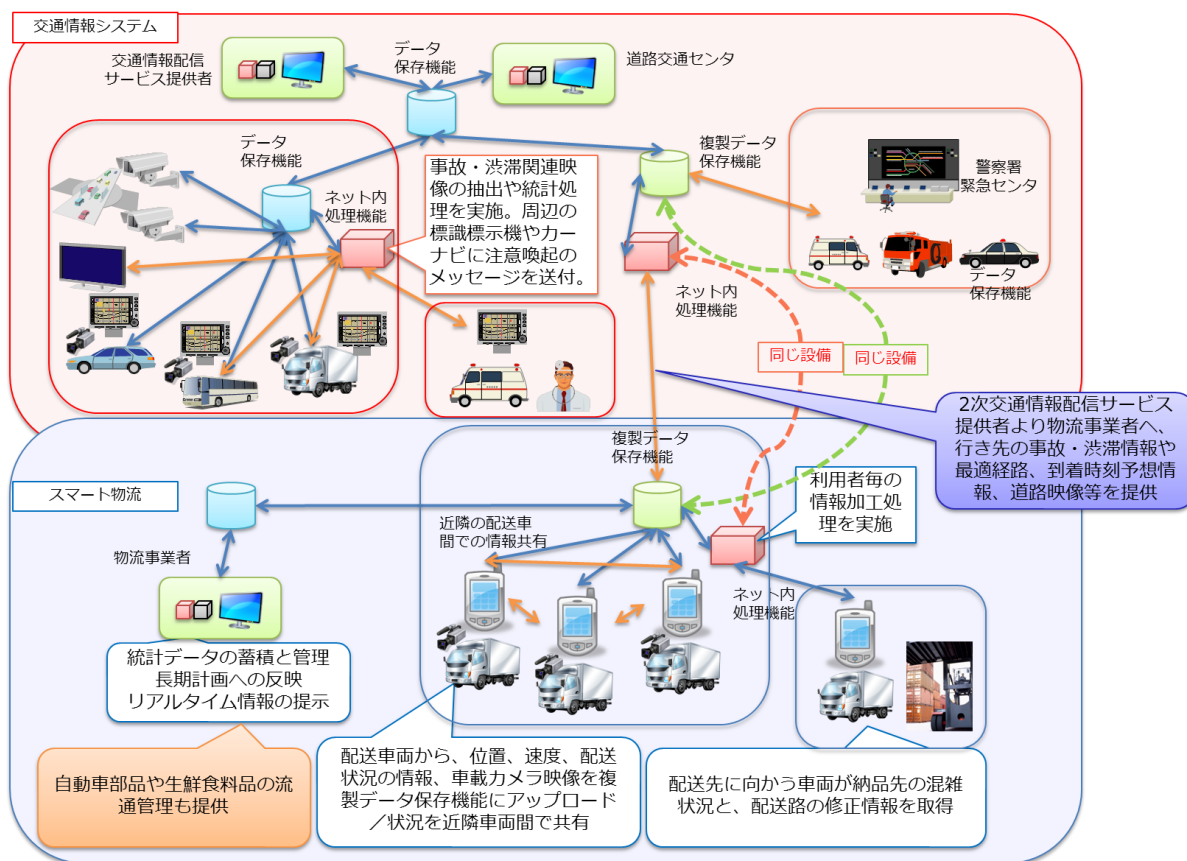


図 46. 交通情報システムとスマート物流のプラットフォーム共通化。

付録 B

- **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 サーバにクロール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の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, CS2011-30), 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 Architec-

- ture 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/>
 - [49] 矢野経済研究所レポート <http://www.yano.co.jp/press/press.php/000845>
 - [50] 業界動向サーチ <http://gyokai-search.com/>
 - [51] <http://ryutsuu.biz/strategy/d110716.html>
 - [52] <http://ryutsuu.biz/topix/d122126.html>
 - [53] <http://www.recycle-tsushin.com/databook/>
 - [54] 本・書籍通販検索 <http://book.tsuhankensaku.com/>
 - [55] TSUTAYA Online 在庫検索 <http://store.tsutaya.co.jp/item.html>
 - [56] (株)総合プランニング「2012 年版 電気自動車関連市場の最新動向と将来予測」
 - [57] 平成 23 年度我が国情報経済社会における基盤整備 (電子商取引に関する市場調査)、平成 24 年 2 月、経済産業省、<http://www.meti.go.jp/press/2012/08/20120828002/20120828002-4.pdf>

- [58] 平成 23 年通信利用動向調査、平成 24 年 5 月 30 日、総務省、
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/120530_1.pdf
- [59] 2011 年度版デジタルサイネージ市場の現状と今後の方向性（シード・プランニング）
<http://www.seedplanning.co.jp/press/2011/2011072601.html>
- [60] デジタルサイネージ市場総調査(富士キメラ総研) <http://www.fcr.co.jp/pr/11012.htm>
- [61] <http://www.seedplanning.co.jp/press/2010/2010070501.html>
- [62] <http://www.nvidia.co.jp/object/cloud-gaming-benefits-jp.html>
- [63] <http://www.zenrin-datacom.net/business/advantage.html>
- [64] <http://www.4gamer.net/games/006/G000612/20080414007/>
- [65] 株式会社三菱総合研究所, 「ITS 市場規模推計結果一覧」, 2007 年
- [66] 電通「日本の広告費」2012 年版 http://www.dentsu.co.jp/books/ad_cost/2012/index.html