

## 平成24年度研究開発成果概要書

新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発 (149ウ01)

課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発

副題 ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信アプリケーション

### (1) 研究開発の目的

現在広く普及するインターネットは、当初ポイントツーポイント型の通信をサポートするものとして開発された歴史をもつが、現在ではコンテンツ配信サービスを実現する基盤プラットフォームとしての役割が大きくなっている。そのコンテンツ配信サービスは、CDNやP2Pなどその流通形態を変化させながら発展してきた。CDNにおいては、サーバを分散配置しアクセスを地理的に分散させることで、負荷分散を実現し効率的コンテンツ配信サービスを展開してきた。サーバへの負荷集中をさらに回避する方法として、参加ホストがサーバとしてコンテンツ流通に能動的に関与するP2Pが普及し、さらに効率的なコンテンツ流通サービスが可能となっている。このようにコンテンツ配信サービスは、どこからコンテンツを得るかという点をユーザに隠蔽する形でその姿を変え発展してきたものの、コンテンツ流通を支えるネットワークについては、IPアドレスでコンテンツ取得先を指定するというロケーションオリエンテッドな基本設計は全く変化していない。ユーザは本来コンテンツそのものを要求しており、そのコンテンツがどこに存在しているのかというロケーション情報には興味がない。このような観点で、平成22年度においてNICTからの受託研究「新世代ネットワーク技術戦略の実現に向けた萌芽的研究（コンテンツIDとロケーションIDの連携によるコンテンツ流通プラットフォームの研究開発）」を実施した。本研究は、この萌芽的研究をベースに、新世代ネットワークアプリケーションに必要な機能を開発するという目的で、さらに大きく発展させるものである。萌芽的研究はコンテンツIDとロケーションIDの連携をネットワーク誘導を用いて実現するというネットワークングの観点での基盤的研究と位置づけられ、本研究は、これをベースとして新世代コンテンツ配信アプリケーションを実現するために必要な、コンテンツ発見フェーズ、コンテンツ転送フェーズにおける技術課題を解決するという点で、アプリケーション開発に向けてさらに大きく発展させた課題として位置づけられる。

ユーザがコンテンツを取得するには、まずコンテンツがどこにあるのかを発見するコンテンツ発見フェーズを経たうえで、さらにコンテンツをその存在箇所からユーザまで転送するコンテンツ転送フェーズを経る必要がある。本研究では、これらコンテンツ発見フェーズとコンテンツ転送フェーズの双方に対し、ユーザにとってはコンテンツがどこから得られるのかには関心がなく、どのように効率的にコンテンツを取得できるのかという観点が重要であるという考えに基づき、負荷分散やトラフィック分散の観点で効率的なコンテンツ発見と、ロバスト性と効率を実現するコンテンツ転送を実現する。これにより、新世代コンテンツ配信アプリケーションが具備すべきSpace decoupling（コンテンツ提供者とコンテンツ要求者間のロケーションオリエンテッドな強い関係を緩和し、誰からコンテンツを得るのか、どこからコンテンツを得るのかという点には制約を設けない機能）に対し、ネットワーク資源の効率的運用という観点を取り入れた形での実現を目指す。コンテンツ発見フェーズについては、まず課題ウ-1-1においてネットワーク誘導において前提となるコンテンツIDとロケ

ーションIDのマッピングを対象に、負荷分散機能を導入した効率的ロケーションID選択技術を扱う。さらにコンテンツ発見フェーズでは、マッピングにより得られたロケーションIDをもとにサーバもしくはキャッシュへと送信されるコンテンツ要求に対し、課題ウ-1-2においてネットワーク誘導を複数もたせてこれを自律分散的に制御することで、ネットワーク誘導による効率的コンテンツ発見の実現を目指す。次にコンテンツ転送フェーズでは、課題ウ-1-2において複数ネットワーク誘導による複数箇所からのコンテンツ転送を実現し、ユーザに対するより高いレベルでのSpace decouplingの提供を目指す。また、課題ウ-1-3では、コンテンツを含むネットワークリソースの動的発見にネットワーク誘導技術を用い、ネットワークリソースの発見・取得・利用のためのプラットフォームを確立する。これらの課題すべてを包含する形で、課題ウ-1-4において本研究で開発する技術を統合したコンテンツ配信アプリケーションアーキテクチャを確立し、プロトタイプ上の実装する。このプロトタイプの有効性、実現性は、最終的にJGN-X上で検証する。本研究で得られる成果により、ユーザがどこに所望コンテンツがあるのかという点を全く意識することなく、ネットワーク側がコンテンツ発見ならびにコンテンツ転送の双方について効率的コンテンツ流通を実現することが可能となる。ユーザにとってはより速いコンテンツ取得を、ネットワークにとってはより効率的な資源利用を可能とする、ネットワークが主体的にコンテンツ流通に参与する全く新しいコンテンツ流通プラットフォームが実現でき、コンテンツ流通を軸とした新しいコンテンツ配信アプリケーションの基盤技術を提供できる。

本研究は、コンテンツ要求に対しネットワーク内のルータが自身の管理する情報に基づき自律的にコンテンツ存在方向へ誘導するネットワーク誘導技術としてBreadcrumbsと呼ばれる画期的方式を提案している米国University of MassachusettsのProf. James F. Kuroseと、日本側研究者との連携による共同研究である。米国側研究者のネットワーク誘導技術を基本技術とし、日本側研究者がその拡張技術としてのコンテンツ配信アプリケーションに必要な技術開発を行う。国内外に本成果を広く発表し、両者の連携による成果を広くアピールする予定である。また、コンテンツオリエンテッドネットワーク全般に関する連携を深め、さらに長期的な視野で共同研究を発展させることも視野に進めていきたい。

- (2) 研究開発期間  
平成23年度から平成26年度（4年間）
- (3) 委託先  
関西大学<幹事>、大阪府立大学、神戸大学、日本電気株式会社
- (4) 研究開発予算（百万円単位切上げ）

平成23年度	39（契約金額）
平成24年度	33（ 〃 ）
平成25年度	36（予定 〃 ）
平成26年度	34（ 〃 ）
- (5) 研究開発課題と担当  
課題ウ-1：ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信アプリケーションの研究開発

課題ウ-1-1… 負荷分散コンテンツ・ロケーションマッピング制御技術  
(神戸大学)

課題ウ-1-2… 分散コンテンツ配信制御技術 (関西大学)

課題ウ-1-3… コンテンツを含むリソースの動的発見・利用技術 (大阪府立大学)

課題ウ-1-4… コンテンツ配信プラットフォーム構築技術 (日本電気)

#### (6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	3	2
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	2(*)	2(*)
	その他研究発表	27	17
	プレスリリース	0	0
	展示会	1	1
	標準化提案	1	1

\* 発表前 (採録決定) 2 件を含む

- ・ 査読付き論文誌 2 件 (発表前 (採録決定) 2 件)
- ・ 査読付き国際会議 6 件
- ・ 情報処理学会 研究会招待講演 1 件
- ・ 電子情報通信学会 研究会発表 10 件
- ・ 情報処理学会 関西支部大会 2 件
- ・ 電子情報通信学会 ソサイエティ大会・総合大会発表 5 件
- ・ 電子情報通信学会 総合大会依頼シンポジウム発表 1 件

#### 具体的な成果

##### (1) コンテンツ発見フェーズ

コンテンツ発見に関しては、課題ウ-1-1 においては、コンテンツ ID (とサーバロケーション) を解決するためのマッピングサーバに、キャッシュロケーションもあわせて解決する MSCR (Mapping Server with Cache location Resolution) を提案し、シミュレーションにより、キャッシュヒット率の向上と Tier-1 トラフィック削減が可能であることを示した。MSCR は、ルータに BC が実装されていない場合であっても適用可能であり、導入は比較的容易である。また、BC と連携することで、高いキャッシュヒット率と Tier-1 トラフィックの削減が実現できる。MSCR を導入しない場合のキャッシュヒット率 4.3%、相対 Tier-1 トラフィック 96.9% に対し、MSCR (登録時刻制限付距離優先 PCL 選択方式) によりキャッシュヒット率は 44.7% に増加、相対 Tier-1 トラフィック 78.3% に削減できることを確認し

た。さらに、BC 方式と組み合わせることで、キャッシュヒット率 52.3%となり、相対 Tier-1 トラフィック 82.7%に削減できることを確認し、有効性を確認することができた。この内容については、以下の発表を行っている。

川端弘樹, 橋本憲祐, 稲元勉, 高木由美, 太田能, 玉置久, ``インネットワーク誘導のためのコンテンツ/ロケーションマッピングに関する性能評価 ,'' 電子情報通信学会技術研究報告, ネットワークシステム研究会, vol.112, no.231, pp.1-6, 2012 年 10 月.

課題ウ-1-2 においては、コンテンツダウンロード方向を示すポインタである Breadcrumbs に、最新のダウンロード方向以外のある時間範囲内で許容する古いダウンロード方向もあわせて利用し、コンテンツ発見の幅を広げる新しい方式として、複数 Breadcrumbs を提案した。Breadcrumbs を分類し、最新方向 Breadcrumbs には従来通りコンテンツ要求を必ず誘導し、それ以外の方向には確率的に誘導するものとし、過度のコンテンツ要求の複製発生を抑えた。また、ルータにより複製として生成されたコンテンツ要求に対しては、キャッシュコンテンツ発見の幅を広げるだけの目的をもたせ、キャッシュコンテンツを見つけられなかった場合には、Breadcrumbs の無効化が終了した時点で削除することとし、サーバへの過度の負荷集中を避けるものとした。その結果、複数 Breadcrumbs 方式により、複数個所からのダウンロードを許容することによりサーバ負荷を大きく低減できること、ユーザにより近いキャッシュコンテンツを発見できる可能性がありコンテンツダウンロードホップ数を低減できること、を明らかにした。この内容については、以下の論文などで発表を行っている。

神藤慎二, 三原大輝, 山本幹, ``キャッシュネットワークにおける複数 Breadcrumbs の検討," 信学技報, vol. 112, no. 463, NS2012-240, pp. 439-444, March. 2013.

## (2) コンテンツ転送フェーズ

コンテンツ転送に関しては、課題ウ-1-2 において、トラフィックピークとオフピーク時のトラフィック量の差異が近年増加していることを考慮し、この差を時間軸方法へのコンテンツダウンロードをシフトすることで改善する方法として、SAR(Storage Aware Routing)を新しく提案した。SAR においては、ユーザがコンテンツを視聴したいと考えた時刻と、実際に視聴する時刻に差がある場合に、この時間内にルータでコンテンツを蓄積する時間を調整し、トラフィックピークを避ける形でのコンテンツ転送を可能とする。すなわち、これまでの空間軸方向のルーティングを、時間軸方向にもトラフィック分散を実現する新しいアプローチである。評価により、SAR が有効に働く条件を明らかにし、その適用される範囲が広いことか

ら、SAR によるトラヒック平滑化効果が高いことを示した。この内容については、以下の論文などで発表を行っている。

山下誉幸, 柳生智彦, 山本幹, “蓄積型コンテンツ配信ネットワークの有効性に関する検討,” 信学技報, vol. 112, no. 463, NS2012-239, pp. 433-438, March. 2013.

課題ウ-1-3 では、ABC/BC+の高度化に関して、BC-Scoping 技術の詳細検討に加え、ABC と BC の協調制御、さらにはキャッシュの利用負荷に応じた ABC の配布・無効化制御を追加的に確立し、その有効性を実証した。さらに、一般化された ABC 方式の一環として、クエリの配布範囲を線ではなく面で行う拡張方式の提案を行い、その有効性を定量的に明らかにした。次にコンテンツをリソース全般に一般化した RBC についても詳細仕様設計・計算機シミュレーションによる性能評価を行い、リソース取得距離やクエリ伝搬ホップ数などの劇的な改善効果を明らかにした。また、課題ウ-1-4 (NEC) と連携して ABC の詳細仕様策定・プロトタイプ実装が行われ、今後の拡張プロトタイプ実験の足がかりができた。研究業績に関しても、論文、国際会議、研究会など、総計として当初予定以上の成果となった。本成果は以下の論文などで発表している。

西井健人・谷川陽祐・戸出英樹 (阪府大), “Breadcrumbs の応用によるオープン化された資源共有システム,” 2013 年電子情報通信学会総合大会, BS-2-6, Mar. 2013.

### (3) コンテンツ配信プラットフォーム

課題ウ-1-4 において、MSCR 方式、HBC および BC Scoping 方式のコンテンツ配信プラットフォームへの実装を完了した。実装した 4 種類の拡張機能 (ABC, HBC, BC Scoping, MSCR) の同時利用における相互作用に関する評価を実施し、各方式の相互作用について明らかにした。本成果は以下の論文で発表している。

柳生智彦, “コンテンツ指向ネットワークにおけるインネットワーク誘導拡張方式の相互作用に関する評価,” 信学技報, ネットワークシステム研究会, vol. 112, no. 463, NS2012-234, pp. 403-408, 2013 年 3 月

## (7) 研究開発イメージ図

# 平成24年度「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発 課題ウ 新世代ネットワークアプリケーションの研究開発 [副題]ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信アプリケーション」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

## 1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

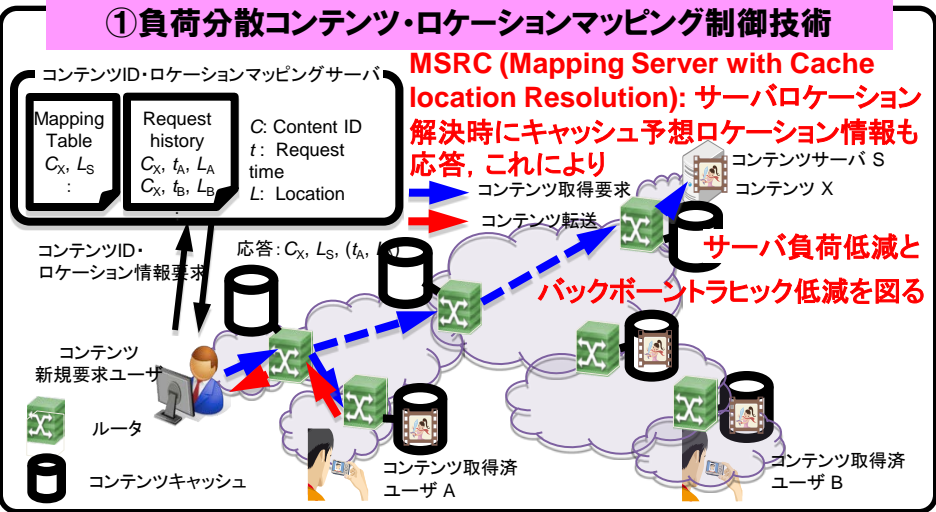
◆実施機関 関西大学(幹事者)、大阪府立大学、神戸大学、日本電気  
 ◆研究開発期間 平成23年度から平成26年度(4年間)

◆研究開発費 総額142百万円(平成24年度 33百万円)

## 2. 研究開発の目標

・新世代コンテンツ配信アプリケーションが具備すべきSpace decoupling(コンテンツ提供者とコンテンツ要求者間のロケーションオリエンテッドな強い関係を緩和し、誰からコンテンツを得るのか、どこからコンテンツを得るのかという点には制約を設けない機能)に対し、ネットワーク資源の効率的運用という観点を取り入れた形で実現する。

## 3. 研究開発の成果

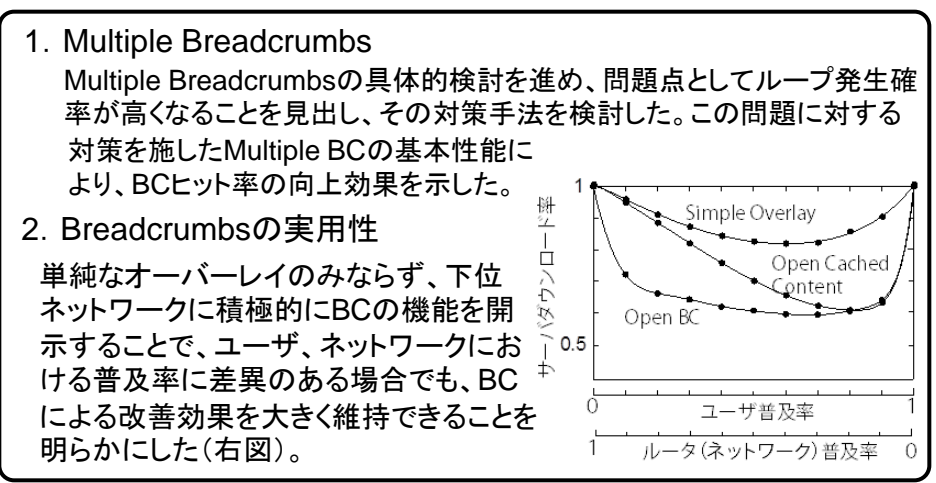
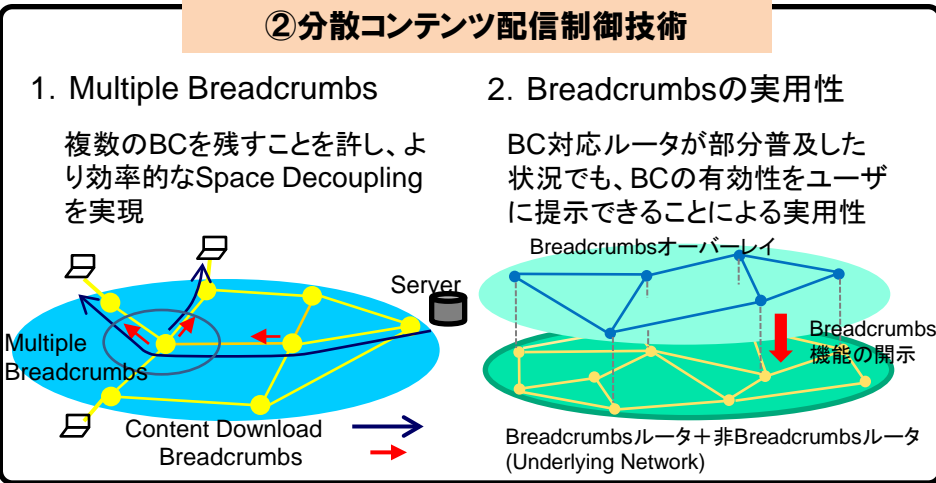


### ❖ シミュレーション実験による有効性の検証

トポロジ: 3 階層, ルータ数: 2,000, コンテンツ数: 10,000  
 コンテンツ嗜好分布: Zipf, コンテンツキャッシュポリシ: LRU  
 → 結果: **サーバ負荷減(キャッシュ取得率増), Tier-1トラフィック量減を確認**

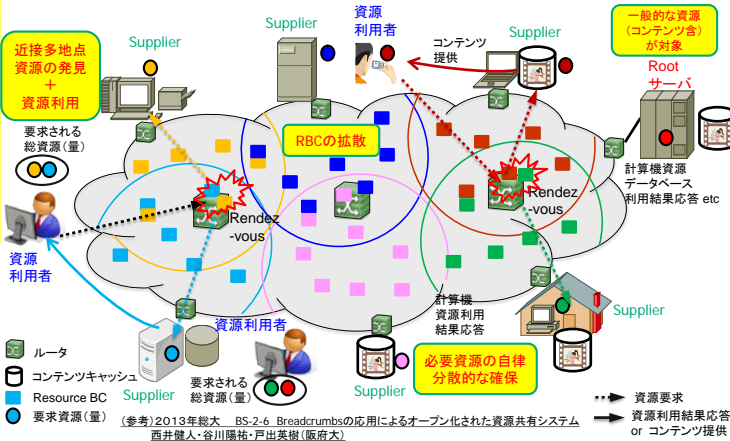
シナリオ	キャッシュからの取得率 (%)	Tier-1トラフィック量 (IP比 (%))
IP	0	100
IP + Cache	1.8	98.4
IP + Cache + <b>MSCR</b>	8.1	92.1
IP + Cache + BC	7.9	95.5
IP + Cache + BC + <b>MSCR</b>	12.4	90.9

10.6ポイント増 (1.8 to 12.4)  
 6.3ポイント増 (1.8 to 8.1)  
 7.5ポイント減 (98.4 to 90.9)  
 6.3ポイント減 (98.4 to 92.1)  
 4.5ポイント増 (7.9 to 12.4)  
 4.6ポイント減 (95.5 to 90.9)



### ③コンテンツを含むリソースの動的発見・利用技術

一般化されたリソースの発見・利用プラットフォーム技術を確立するため、Resource Breadcrumbsを提案



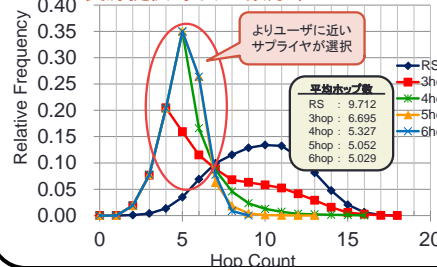
資源提供可能な Supplier が RBC を配布し、利用者が所要資源を網内で確保

### RBC基礎評価

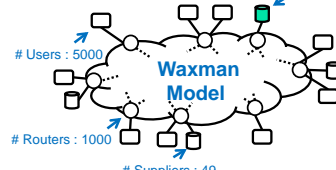
資源種類数: 5  
 - サプライヤはそれぞれ 2 or 3 種類の資源を提供  
 - ユーザの要求資源は ランダムに決定

資源要求間隔: 指数分布  
 資源提供時間: 定数時間

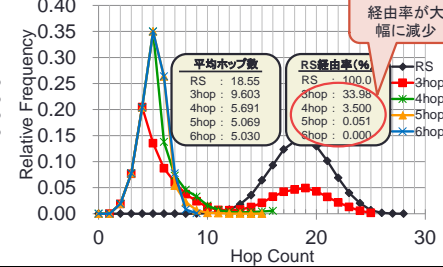
#### 資源提供時ホップ数分布



#### トポロジ

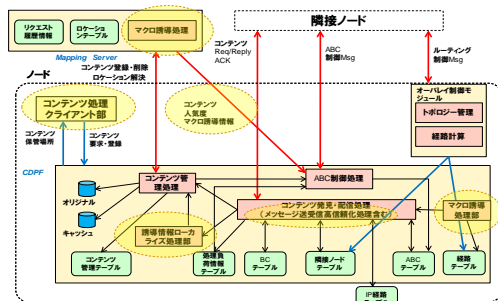


#### クエリホップ数分布



### ④コンテンツ配信プラットフォーム構築技術

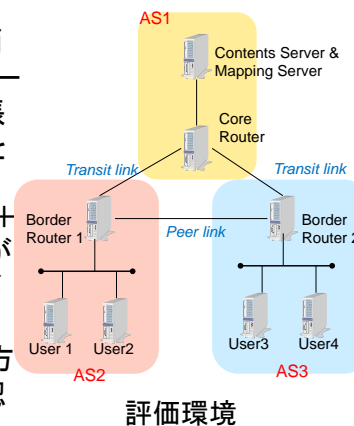
1. MSCR方式、HBCおよびBC Scoping方式のコンテンツ配信プラットフォームへの実装を完了。
2. 実装した4種類の拡張機能 (ABC, HBC, BC Scoping, MSCR) の同時利用における相互作用に関する評価を実施
3. 仮想化基盤テストベッド上で動作させるため、指定インターフェイス無効化機能を追加。
4. 仮想化テストベッド上で4ノードによる簡易動作検証を完了



#### 複数拡張方式の相互作用に関する評価

・ABCとMSCRを併用することにより、評価環境においてキャッシュヒット率、ダウンロードホップ数、キャッシュ生存時間が、全拡張方式の組み合わせにおいて最高となることが確認された。

・ネットワークトラフィックにおいても、ABC+MSCRの組み合わせでピアリンク利用率が17%向上し、コア・トランジットトラフィックが5%程度減少する等の効果が得られた。ピアリンクのない環境では、さらに複数の方式組み合わせで効果が高くなることが確認された。



4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と( )内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信アプリケーションに関する研究開発	3(2)	0	2(2)*	27(17)	0	1(1)	1(1)

\*発表前(採択決定)2件含む

## 5. 研究成果発表会等の開催について

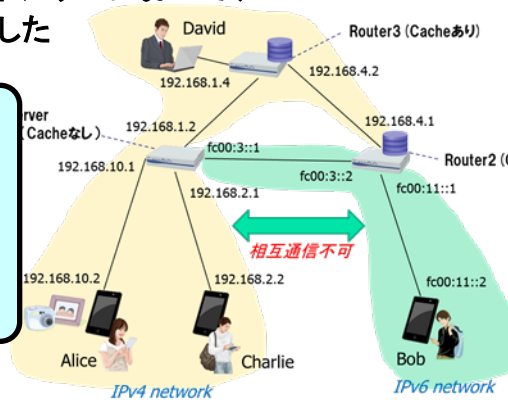
### (1) 海外共同研究者 Prof. James F. Kurose との成果発表会を実施し、海外との連携を深めた

2013年2月8日に実施。アメリカ側Prof. James F. Kurose と日本側関西大学 山本、大阪府立大学 戸出、神戸大学 太田、日本電気 柳生による、本課題の成果についての発表、検討会。なお、Breadcrumbs担当博士課程学生であったElisha Rosensweig (現イスラエルアルカテルルーセント)と電話会議により、複数Breadcrumbsについてディスカッションを行った。



### (2) プロトタイプ実装についてNwGNシンポジウムにおいてデモを行い、本受託研究の成果を広く公表した

2012年10月10日に、NICT主催でベルサール八重洲において開催された「第5回新世代ネットワークシンポジウム」において、「ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信アプリケーション」と題してデモを行った。



### (3) 研究分野の啓蒙活動

電子情報通信学会誌におけるこの分野の啓蒙活動としての解説執筆

2012年4月に、関西大学山本による「コンテンツオリエンテッドネットワーク -ネットワーク自体がユーザ所望のコンテンツを発見・転送-」と題した解説が電子情報通信学会誌に掲載された。通信分野に限らず電子情報通信学会会員全員に配布される学会誌に掲載される本解説の執筆により、コンテンツオリエンテッドネットワーク研究への啓蒙活動を積極的に行った。

## 6. 今後の研究開発計画

コンテンツ発見とコンテンツ転送フェーズの双方に対し、新世代コンテンツ配信アプリケーションが具備すべきSpace decoupling (コンテンツ提供者とコンテンツ要求者間のロケーションオリエンテッドな強い関係を緩和し、誰からコンテンツを得るのか、どこからコンテンツを得るのかという点には制約を設けない機能)を、ネットワーク資源の効率的運用という観点を取り入れた形で実現する方法をさらに検討する。また、JGN X上での実装による有効性検討に向けて、課題Aならびに課題Iとの連携の方向性を具体的に検討する。