

# コミュニティ指向通信技術

李 睿棟 朝枝 仁

将来ネットワーク技術である情報指向ネットワーク (ICN) の概念を利用したコミュニティ指向通信アーキテクチャ、「コミュニティ指向 ICN (CORIN)」を提案する。ICN がコンテンツ名を用いて通信を行うのに対し、CORIN では「コミュニティ名」を用いた多対多型の通信を実現する。CORIN は、将来のサイバーフィジカルシステム (CPS) や Internet of Things (IoT) の実現に貢献する。

## 1 概要

インターネットで用いられる IP 通信技術は、人と人とのコミュニケーションを実現する汎用的な通信技術として進化・発展してきた。今日では、低価格のセンサー、無線周波数識別 (RFID)、スケーラブルかつ高速な無線通信技術の進歩により、あらゆるモノがインターネットに接続される「Internet of Things (IoT)」と呼ばれる分野や、インターネットに接続される物質的世界とサイバー空間を相互作用することができる「サイバーフィジカルシステム」(CPS) と呼ばれる分野へも適応されている。しかし IoT や CPS の分野では、センサーなどが発生する大量のデータ (いわゆるビッグデータ) を管理・ネットワーク内処理し、それを当事者間で共有するための仕組みが要求され、膨大な量のデータを全てサーバーやクラウドで管理する通信モデルには通信速度やエネルギー効率の観点からも限界が生じる。また Cisco が最近発表した白書<sup>[1]</sup>によると、インターネットに接続されるデバイスは、2020 年までに 500 億台に達する見込みであるため、現在の IP 通信よりも更にスケーラビリティの高い、リアルタイム性 (即時応答性) に富んだ通信プロトコルが求められている。

ここで、多くの IoT や CPS では、「ヒト」や「モノ」といったオブジェクトの「集合 (コミュニティ)」の中で行われる情報共有が通信の主体になると考えられる。しかし、これまでのホストを中心とする 1 対 1 のエンド-エンド通信モデルを基本とする IP 通信を用いて、多数のオブジェクトが存在するコミュニティ内通信を実現する場合、通信経路数が膨大になる、あるいは不必要な通信トラフィックが増加するなどの問題が生じ、結果として、全体の通信パフォーマンスや通信品質の低下などを引き起こす。

このような背景において、我々は、将来ネットワーク技術の新たなパラダイムとして研究が進められてい

る情報指向ネットワーク (ICN)<sup>[2-6]</sup> の概念を利用したコミュニティ指向通信アーキテクチャ、「コミュニティ指向 ICN (CORIN)<sup>[6]</sup>」を提案する。ICN では、IP 通信が前提とするホスト中心型の通信ではなく、情報 (コンテンツ) を中心とした通信を可能とする。すなわち、サーバーや情報提供者のロケーション (IP アドレス) を指定せず、情報 (コンテンツ) の名前を用いた通信を行うことで、当該コンテンツを所有 (もしくはキャッシュ) する近隣のルーターやノードからコンテンツを取得する。CORIN では、ICN で用いるコンテンツ名の代わりに「コミュニティ名」を指定してコミュニティを単位とした通信を行う。ここで用いられるコミュニティとは、共通の情報やコンテンツに興味がある、もしくはネットワーク接続した論理的・物理的に何らかの関係性を持つユーザーの集合となる。CORIN では、同一のコミュニティに属するユーザーは双方向の通信経路に接続され、これにより、多対多の通信が可能となる。これにより、将来の IoT や CPS などのサービスに応用できる効果的な通信アーキテクチャの実現を目指すことが可能となる (図 1)。

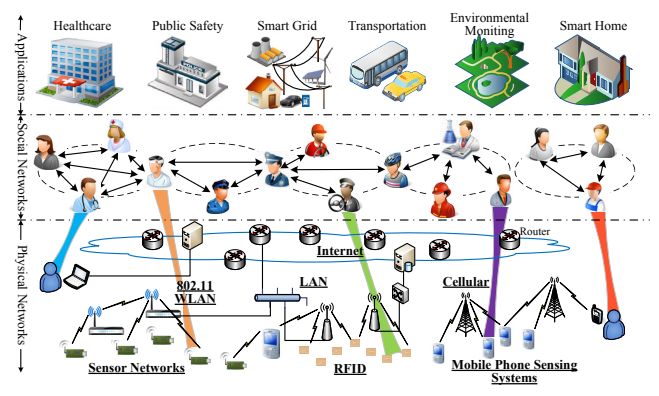


図 1 コミュニティ指向通信により実現される CPS のイメージ<sup>[7]</sup>

## 2 関連研究

従来の IP 通信において、多数のユーザー（グループメンバー）を単位とした通信を実現するプロトコルとして IP マルチキャストが存在する。しかし IP マルチキャストでは、動的に割り当てられる IP マルチキャストアドレスとグループメンバーもしくはコンテンツそのものに特別な関連性はないため、ユーザーは IP マルチキャストアドレスとコンテンツの対応をコンテンツ送受信時に逐次行う必要がある。また、IP マルチキャスト通信に特化した専用の IP アドレスや経路制御プロトコルを用いるため、ルーターは1対1通信を実現する IP ユニキャストとは異なる特別な経路制御表を構築・管理するための経路制御プロトコルを実装する必要があるだけでなく、その通信経路の状態遷移が複雑であるためネットワーク運用も複雑となり、IP マルチキャストの技術展開・普及に関して常にその障壁が指摘されている。

BitTorrent などの P2P アプリケーションは広く普及しており、これらを用いて複数ユーザーに対してコンテンツ共有を行うこともコミュニティ通信を実現する1つの解に成り得る。しかし P2P アプリケーションが形成するオーバーレイネットワークは、アンダーレイの物理ネットワークとは独立して経路形成されるため、必ずしも最適な経路が形成されるとは言えず、このため、通信そのもののパフォーマンスが損なわれ反応時間の遅延が発生する可能性があり、これは更にユーザーの増加に伴いネットワークに大量の冗長トラフィックが氾濫し、他の通信アプリケーションに対しても悪影響を与えてしまう可能性もある。

将来ネットワーク技術として研究が行われている ICN において、これまで DONA<sup>[2]</sup>、PURSUIT<sup>[3]</sup>、CCN<sup>[4]</sup>、NetInf<sup>[5]</sup> などの ICN アーキテクチャが提案されている。これらのアーキテクチャは ICN の基本的な機能を実現しているものの、コミュニティ指向通信に適した、多対多の通信経路構築などを想定して設計されたものではないため、多数のユーザーが、ユーザー間でコンテンツを共有する場合などにおいてスケラビリティを急激に低下させる可能性がある。例えば CCN や PURSUIT では、コンテンツ（送信者）ごとに、送信ノードを頂点とする経路木を構築しておかなければならず、このため特に送信者が増加した場合に経路表が肥大してしまう恐れがある。NetInf などでは、階層型分散ハッシュテーブル (DHT) の概念を用いて、一番近い情報のコピーを発見及び検索する手法を定義しているが、これに関しても、多対多型の情報共有を行うための通信構造の検討は行われておらず、多数のユーザー間で情報共有するための通信経路の最適化は

行われていない。

## 3 コミュニティ指向 ICN (CORIN) の基本設計

### 3.1 ネットワーク機能

特定の通信機器が発するセンサー情報や、ある電車の運行状況といった共通の情報に関心を持つユーザーが、コミュニティという集合を単位としてグループ化され、コミュニティ名を指定して各グループメンバーが同一コミュニティ内における通信を行うことをコミュニティ指向通信と定義する。この時、1での説明の通り、ビッグデータへの対応として、遠方にあるかもしれないサーバーやクラウドに依存することなく通信が実現できることをその要求とすると、ここで用いられる通信技術は、ICN 同様、IP アドレスに依存しない名前ベースの経路制御とネットワーク内キャッシュの利用が効果的であると考え、我々は ICN 技術とその特徴を継承したコミュニティ指向通信技術、「Community-Oriented ICN (CORIN)<sup>[6]</sup>」を提案した。CORIN では、一般的な ICN が用いるコンテンツ名の代わりにコミュニティ名を用い（コミュニティ名の定義に関しては次節参照）、全てのユーザーは1つ以上のコミュニティと呼ばれるグループに属する。

CORIN が稼働する物理ネットワークは、以下の3つのネットワーク機能により構成される。

- フォワーディングノード (FN) : FN は、データ及び制御メッセージを転送するルーターとして機能する。FN は自身の経路制御のため、フォワーディング情報ベース (FIB) とリクエストペンディングテーブル (RPT) と呼ばれる2つの表を持つ。FIB は、コミュニティ名 (CID、次節参照) とそれに対応するデータ転送のための入力及び出力のインターフェースを保持する経路表である。RPT は、ユーザーが新しいコミュニティを立ち上げた際、コミュニティ・ランデブーポイント (CRP) (下記参照) から送出される制御メッセージを伝送するためのインターフェースを記録する。
- フォワーディング及びキャッシュャブルノード (FCN) : FCN は、FN 機能に加えてキャッシュ機能を持つルーターとして機能する。キャッシュされたデータは、キャッシュ期限内のデータ転送に活用される。また、コミュニティ通信経路には1つの専用 FCN (DFCN) が存在し、コミュニティ通信経路のルートとして機能する。
- コミュニティ・ランデブーポイント (CRP) : CORIN では、各管理ドメインにつき1つの CRP が存在し、CRP は、そのドメイン内の全コミュ

ニティのCIDを記録・管理し、コミュニティにおけるDFCNのマッチングを担う。全てのFCN/DFCNはCRP名を認知しており、CRPの名前に対する経路を持っていることとする。

### 3.2 コミュニティ名と情報識別子

CORINでは、ネットワーク内にある全てのコミュニティに対し、一意のコミュニティ名(識別子)(CID)が付与される。CIDは、IoTやCPSなどで用いられる「サービスもしくはアプリケーション(例:電力量、温度、運行状況、など)」、情報ターゲットを示す「階層型コミュニティ(例:A会社|B支店|C倉庫、東京都|杉並区、JR東日本|中央線|上り、など)」、コミュニティが初期化された管理ネットワークを示す「CORINドメイン名(例:プロバイダーA、など)」を連結したIDとして定義される。そして、ユーザーが発信/取得/共有したい「情報(例:現在の状況、遅延情報、など)」はCIDを連結した情報識別子(IID)と呼ばれる識別子により定義される。CORIN内部では、CID、IIDなどの文字列は適宜バイナリデータもしくはハッシュ値として変換され、CID単位で通信経路を形成し、同じCIDを指定したユーザー間で、情報共有できる環境が構築される。例えば、<温度|A会社|B支店|C倉庫|プロバイダー1>というCIDで識別されるコミュニティに参加しているコミュニティメンバーは、<温度|A会社|B支店|C倉庫|15度以上|プロバイダー1>というIIDや、<温度|A会社|B支店|C倉庫|20度以上|プロバイダー1>というIIDで識別される情報が共有される。

### 3.3 通信経路表

CORINにおけるデータ転送ルーターの役割を担うFN/FCNは、コミュニティ通信を行うための共有木の経路表(FIB)を持つ。FIBに保持される各エントリは、CIDとそれに対応するデータ転送のための出力用インターフェースが記録され、<CID, DFCN, インターフェースセット>のように記述される。FN/FCNの基本的なデータ転送手法は、FN/FCNは受け取ったパケットに記載された情報識別子におけるCIDの部分をFIBエントリと完全一致させるためのマッチングを実行し、対応するエントリを発見できれば、そのFIBエントリで指定されるインターフェースの中のデータを受信した入力インターフェースを除く全てのインターフェースに対しデータ転送を行う(FIBエントリと完全一致するCIDが発見されない場合は、パケットは破棄される)。

ここで用いられる共有木の構築及び更新のための手続には、次節で述べる「コミュニティ通信の初期化」「コ

ミュニティ通信への参加」「コミュニティ通信からの離脱」などが含まれる。

## 4 コミュニティ通信経路管理手法と情報共有手法

### 4.1 コミュニティ通信の初期化

コミュニティ通信を開始する際、それを初期化する処理が必要となる。CORINでは、コミュニティを形成するローカルエリアネットワーク(管理ドメイン)をCORINドメインと呼び、CORINドメインに1つのCRPが存在する。現在の仕様では、CRPの名前は、CORINドメイン内で通知されるか、静的に各FN/FCNに設定されていることとなっている。

ユーザーがコミュニティ通信の初期化を行う際、ユーザーが接続するFN/FCNはCRPに初期化要求が送られる。この要求を転送する各中間FN/FCNは、要求を受けたインターフェースをリクエストペンディングテーブル(RPT)に記録し、そのインターフェースをCRPからこのユーザーに戻る経路エントリとして認識する。要求を受け取ったCRPは、自身が保持するCORINドメイン内にあるDFCNの一覧から、各コミュニティ名(CID)に対するDFCNを選択し、それをRPTの経路に沿ってユーザーに返信する。DFCNの選択は、特定のDFCNにトラフィックが集中するのを緩和するために、コミュニティに参加するユーザー数などに応じて決定される。その後ユーザーは、IIDと指定されたDFCNを含めたコミュニティ通信参加要求(次節)を送信し、ユーザーとDFCNの間に双方向パスが構築される。

図2は、ユーザー $U_1$ が、CRP、FN( $FN_2, FN_4, FN_6$ )及びFCN( $FCN_1, FCN_3, FCN_5$ )で構成されるネットワークにおいて、CID $_1$ という名のコミュニティを立ち上げる手続を示している。図からもわかるように、 $U_1$ がCRPにコミュニティ通信初期化要求を送り、各中間FN/FCNが、RPTにおいて $U_1$ に戻るエントリを記録する。その後、CRPは、 $FCN_3$ をDFCNとして選択し、RPTに基づき $U_1$ への初期化返信としてこの構成を通知する。そして $U_1$ は、 $FCN_3$ に対してCID $_1$ という名前のコミュニティ通信参加要求(次節)を送る。コミュニティ通信参加要求を受け取った中間FNである $FN_6$ は、コミュニティCID $_1$ がインターフェース2及び3を出力インターフェースとして示す<CID $_1$ , FCN $_3$ , 2, 3>というエントリをFIBに追加する。更にこの参加要求は、インターフェース3を経由して $FCN_3$ に転送される。

DFCNである $FCN_3$ は、このコミュニティに対し、<CID $_1$ , FCN $_3$ , 1>というエントリを作成する。こう

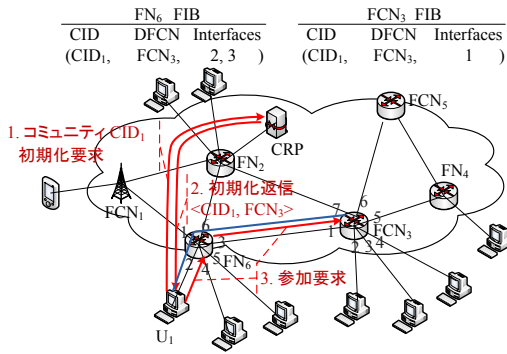


図2 コミュニティ通信初期化手続

して、コミュニティ通信初期化が終了し、U<sub>1</sub>-FN<sub>6</sub>間及びFN<sub>6</sub>-FCN<sub>3</sub>間にリンクを持つ双方向パスが形成される。

### 4.2 コミュニティ通信への参加

コミュニティが立ち上がると、ユーザーはそのコミュニティ通信に参加し、情報発信/取得/共有が可能となる。ユーザーがコミュニティ通信に参加するには、まずユーザーは前節にあるコミュニティ通信初期化要求を行い<sup>\*1</sup>、この要求を受け取ったCRPは、指定されたコミュニティ名(CID)と担当DFCNをユーザーにコミュニティ通信初期化返信として通知する。返信メッセージを受け取ったユーザーは、担当DFCNをルートとする双方向コミュニティ通信経路を構築するため、コミュニティ通信参加要求をDFCNに向けて送る。この参加要求は、FIBにあるDFCNエントリーに基づいて送られる。

コミュニティ通信参加要求の転送時、(1) 中間FN/FCNが既に当該CIDに対するFIBエントリーを持っている場合、(2) 中間FN/FCNが当該CIDに対するFIBエントリーを持っていない場合が考えられる。図3を例にすると、CID<sub>1</sub>というコミュニティに対し、U<sub>1</sub>は既にCID<sub>1</sub>の通信に参加しており、U<sub>2</sub>とU<sub>3</sub>は初期化要求が終わり、参加要求を行う状況であるとする。この場合、CID<sub>1</sub>の通信に参加するために、U<sub>2</sub>は参加要求をCID<sub>1</sub>のDFCNであるFCN<sub>3</sub>に向けて送る。CID<sub>1</sub>のFIBエントリーを持たないFCN<sub>1</sub>がインターフェース1からこの要求を受信すると、FCN<sub>1</sub>はCID<sub>1</sub>に関するFIBエントリーを作成し、更に要求メッセージをインターフェース3経由で転送する。これにより作成されるFIBエントリーは、<CID<sub>1</sub>, FCN<sub>3</sub>, 1, 3>となる。その後、FN<sub>6</sub>がインターフェース1経由で参加要求を受信するが、FN<sub>6</sub>は既にU<sub>1</sub>に関するCID<sub>1</sub>のFIBエントリー(<CID<sub>1</sub>, FCN<sub>3</sub>, 2, 3>)を有しているため、FN<sub>6</sub>はインターフェース1をFIBの一致す

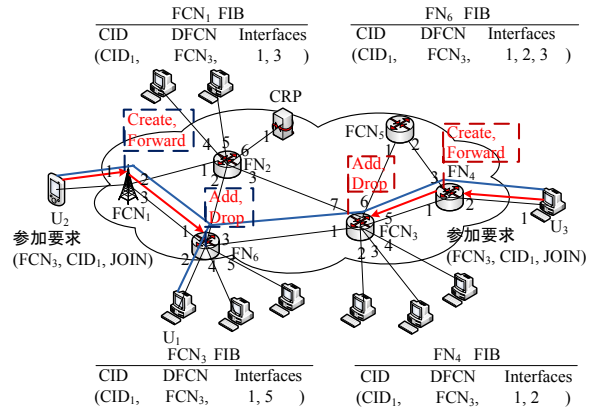


図3 コミュニティ通信参加手続

るエントリーに追加し、<CID<sub>1</sub>, FCN<sub>3</sub>, 1, 2, 3>に更新され、この時点で、U<sub>2</sub>の参加手続は完了となる。U<sub>3</sub>のコミュニティ通信参加においては、中間FN/FCNであるFN<sub>4</sub>はCID<sub>1</sub>のFIBエントリーを持たないため、それを作成する。U<sub>3</sub>の参加要求を受信したFCN<sub>3</sub>は、当該FIBエントリーにインターフェース5を追加し、U<sub>3</sub>の参加手続は完了となる。

### 4.3 コミュニティ通信からの離脱

コミュニティ内のユーザーは、CORINが定める時間超過によるFIBエントリーの破棄<sup>\*2</sup>とは別に、自分の意志でコミュニティ通信から離脱できる。離脱の際には、CIDを指定してコミュニティ離脱要求を送る必要がある。

コミュニティ通信離脱要求の転送時、(1) 中間FN/FCNが当該CIDに対するFIBエントリーに、DFCNへ向けたインターフェースを除き、離脱要求で用いられるインターフェースのみ登録されている場合、(2) 中間FN/FCNが当該CIDに対するFIBエントリーに、DFCNへ向けたインターフェースを除き、複数のインターフェースが登録されている場合が考えられる。前者においては、FN/FCNは、当該コミュニティ通信において自身がデータ転送を担うユーザーが存在しないという判断を行い、コミュニティ通信離脱要求をDFCNに向けて転送し、同時に、当該FIBエントリーを削除する。後者においては、コミュニティ通信離脱要求を受信したインターフェースのみ当該FIBから削除され、コミュニティ通信離脱要求は完了となる。

図4は、ユーザーU<sub>2</sub>とU<sub>3</sub>の2人がコミュニティ通信から離脱する例を示している。U<sub>2</sub>とU<sub>3</sub>は、CID<sub>1</sub>

<sup>\*1</sup> 将来のCRPによるユーザー認証実装のため、コミュニティ通信参加を行う前に、常にコミュニティ通信初期化手順を課している。  
<sup>\*2</sup> 本稿では時間超過に関する説明は割愛する。

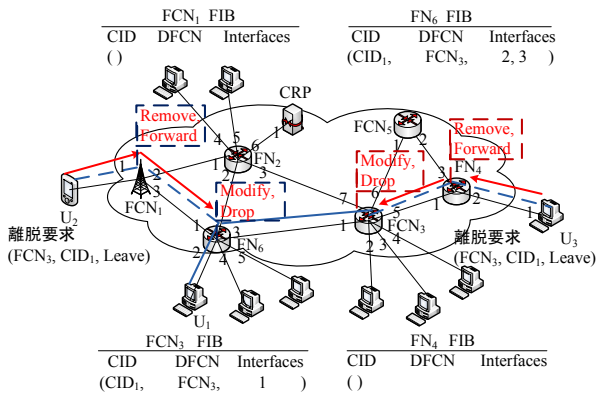


図4 コミュニティ通信離脱手続

の離脱要求パケットを送信する。U<sub>2</sub>からの離脱要求に対しては、FCN<sub>1</sub>はこのパケットを受信し、入力インターフェースであるインターフェース1を削除し、そのコミュニティに関して残ったインターフェースであるインターフェース3にパケットを送信する。その後、このパケットはFN<sub>6</sub>に転送され、CID<sub>1</sub>に関するインターフェースとしてDFCN (FCN<sub>3</sub>) 向けのものしか残っていないため、このFIB エントリを削除する。FN<sub>6</sub>は入力インターフェースであるインターフェース1を削除した後、CID<sub>1</sub>に関するインターフェースがDFCN 向けのもの以外でまだ1つ残っているため、まだCID<sub>1</sub>に対するコミュニティ通信に参加しているユーザーが存在すると判断し、離脱要求を終了する。U<sub>3</sub>からの離脱要求に対しては、FCN<sub>1</sub>と同様、FN<sub>4</sub>は離脱要求をDFCN に向け転送し、CID<sub>1</sub>に対するFIB エントリを削除する。離脱要求を受け取ったFCN<sub>3</sub>はインターフェース1を維持し、最終的に、CID<sub>1</sub>に関するコミュニティ通信には、U<sub>1</sub>のみが残る。

#### 4.4 コミュニティメンバー間の情報共有

コミュニティ通信経路が形成されると、そのコミュニティ通信に参加している全ユーザーがコミュニティに関連するデータを発信/取得/共有することが可能となる。前述のように、中間FN/FCNは、受信したデータのCIDとFIBエントリとの完全一致を実行した後、入力インターフェースを除く、適切なFIBエントリ内の残りのインターフェースにそのデータを転送する。

図5は、U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>、U<sub>3</sub>のユーザーから成るコミュニティにおける、U<sub>1</sub>及びU<sub>3</sub>からのデータ発信に関する通信経路を示した例である。図中赤い矢印はU<sub>1</sub>が発行したデータ1の流れを、茶色の矢印はU<sub>3</sub>が発行したデータ2の流れを示している。U<sub>1</sub>からのデータ発信を例にとると、U<sub>1</sub>はデータ1をCID<sub>1</sub>というコミュニティに対して発信し、FN<sub>6</sub>がそのCIDのマッチングを行っ

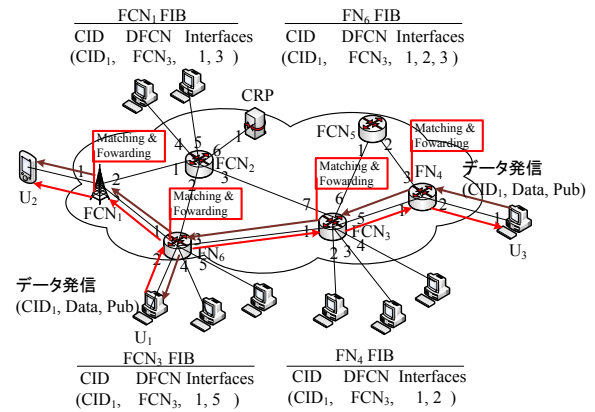


図5 コミュニティへの情報発信手続

た後、メッセージを残りのインターフェースであるインターフェース1と3に転送する。この時、メッセージはインターフェース1からFCN<sub>1</sub>に、インターフェース3からFCN<sub>3</sub>に到達し、それぞれU<sub>2</sub>、U<sub>3</sub>に向けて転送される。FCN<sub>3</sub>はこのコミュニティのDFCNであるため、データ1をキャッシュする。

## 5 まとめ

本稿では、「ヒト」や「モノ」といったオブジェクトの「集合(コミュニティ)」を単位とした通信を効率的に実現することを目的として、情報指向ネットワーク技術(ICN)の概念を利用し、コミュニティ名を用いたコミュニティ指向通信アーキテクチャである「コミュニティ指向ICN(CORIN)」を提案した。CORINでは、これまでの通信技術とは異なる手法で多対多の通信経路を構築・管理する。具体的には、CIDと呼ぶコミュニティ名に対する通信経路を構築し、同一コミュニティに属するユーザーはそのコミュニティ名を含めた情報を発信し、共有することを可能とする。

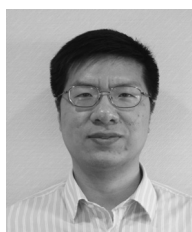
コミュニティ指向通信は将来におけるIoTやCPSの分野で活用されることが期待される。しかしIoTやCPSにCORINを利用するためには、コミュニティ通信を開始・参加できるユーザーや端末の認証・承認機能もしくは手続の定義と実装、また通信の暗号化など、セキュリティ実装が欠かせない。今後、提案したCORINの実装と評価に加え、IoTやCPS分野で安全に利用できるアーキテクチャの実現に向けた研究活動を行っていく。

#### 参考文献

- 1 D. Evans, "The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything," Cisco white paper, April 2011.
- 2 T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, and I. Stoica, "A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture," Proc. ACM SIGCOMM, pp.181-192, 2007.

## 6 情報指向ネットワーク

- 3 P. Jokela, A. Zahemszky, C. E. Rothenberg, S. Arianfar, and P. Nikander, "LIPSIN: Line speed Publish/Subscribe Inter-Networking," Proc. ACM SIGCOMM, pp.195-206, Aug. 2009.
- 4 V. Jacobson, D. Smetters, J. Thornton, M. Plass, N. Briggs, and R. Braynard, "Networking Named Content," Proc. CoNEXT 2009, Dec. 2009.
- 5 NetInf, available at: <http://www.sail-project.eu/>.
- 6 R. Li and H. Asaeda, "A Community-Oriented Route Coordination Using Information Centric Networking Approach," Proc. The 38th IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN 2013) , Oct. 2013.
- 7 H. Yue, L. Guo, R. Li, H. Asaeda, and Y. Fang, "DataClouds: Enabling Community-based Data-Centric Services over Internet of Things," IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, issue 5, pp.472-482, Oct. 2014.



**李 睿棟** (り えいとう)

光ネットワーク研究所ネットワークアーキテ  
クチャ研究室研究員  
博士(工学)  
ネットワークアーキテクチャ、情報指向ネッ  
トワーク、サイバーフィジカルシステム



**朝枝 仁** (あさえだ ひとし)

ネットワーク研究本部ネットワークシステム  
総合研究室プランニングマネージャー  
博士(政策・メディア)  
情報指向ネットワーク