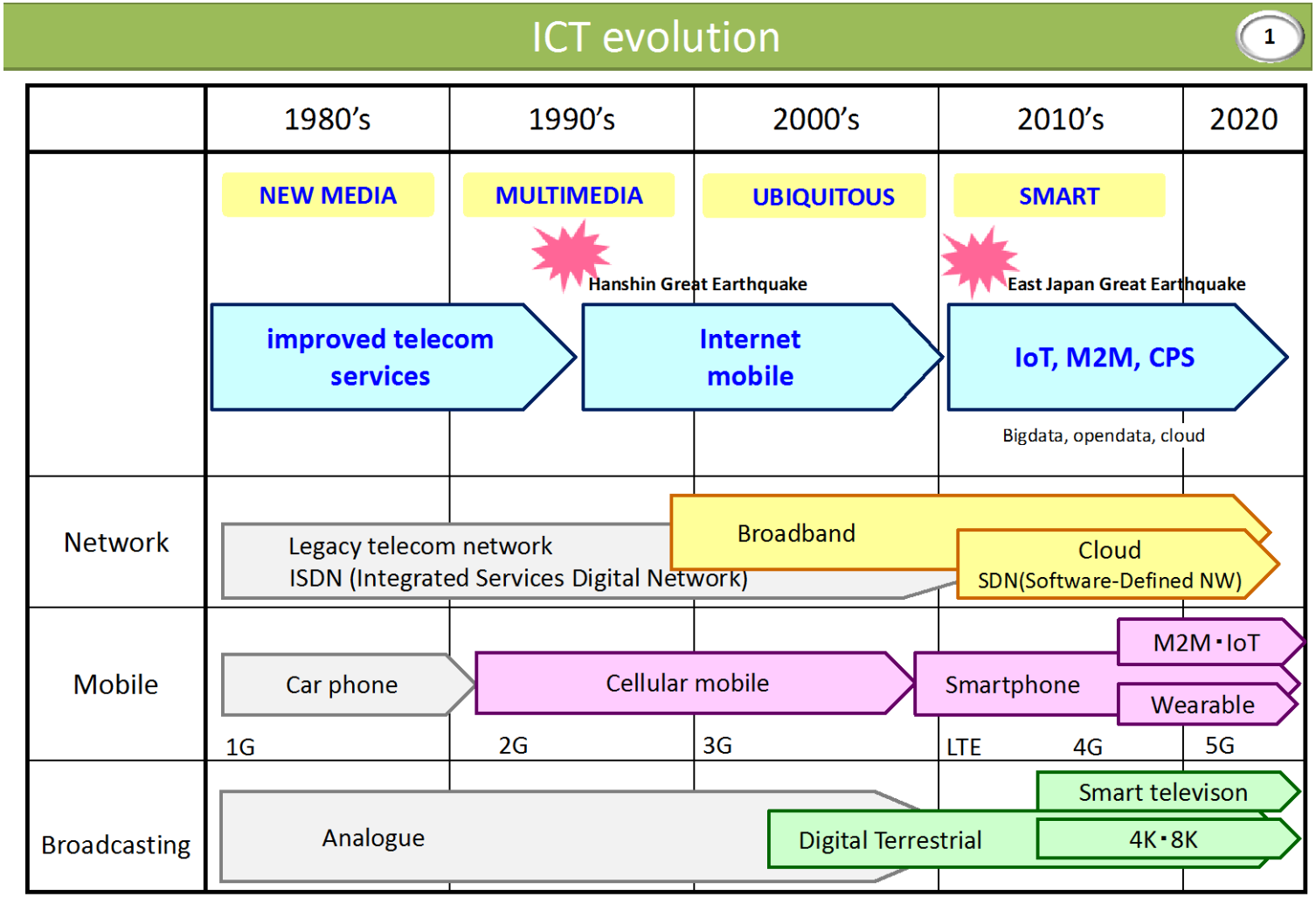
スマートIoTシステムのシミュレーション

新世代ネットワーク推進フォーラム　レジデンシャルICT SWG　リーダ
情報通信技術委員会(TTC)　特別委員
TTC スマートコミュニケーション Advisory Group　サブリーダ
宅内直流給電アライアンス　議長
ECHONETコンソーシアム　アドバイザリフェロー
スマートコミュニティアライアンス　通信インタフェース SWG　座長
総務省 情報通信審議会 専門委員
北陸先端科学技術大学院大学/情報通信研究機構
丹　康雄　ytan@jaist.ac.jp
2015.10.20

総務省技術戦略資料より　ICT evolution



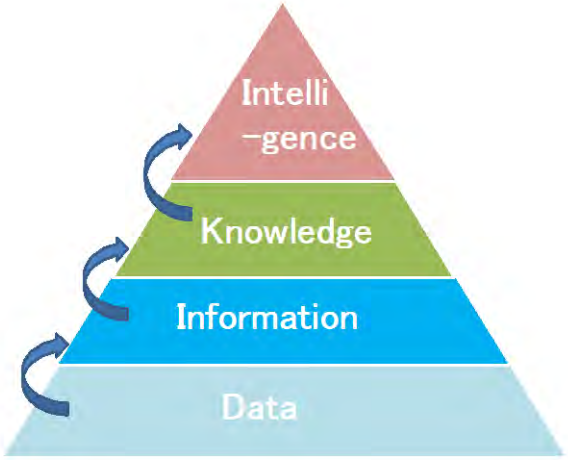
2015 ©TAN Yasuo

総務省技術戦略資料より　ICT revolution

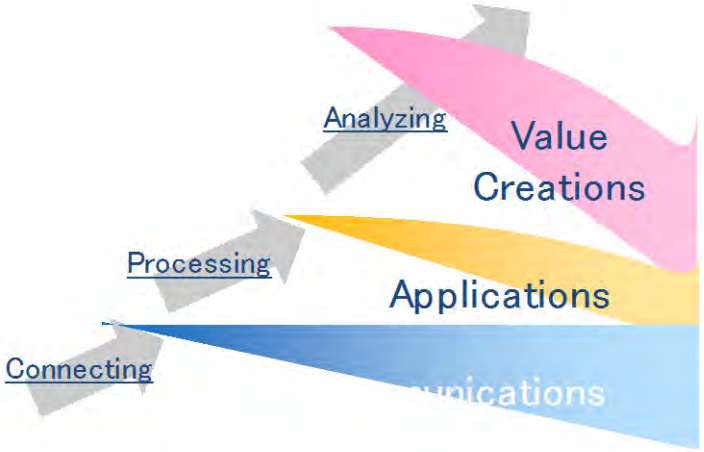
ICT revolution

- ICT has been improved from “a tool for just delivering data” to “a tool for analyzing data and solving societal challenges” by “Bigdata” and “A.I.”.
- ICT will become an essential and efficient tool not only for tackling societal challenges but also for creating incredible values by innovative technologies.

Power by Bigdata and A.I.



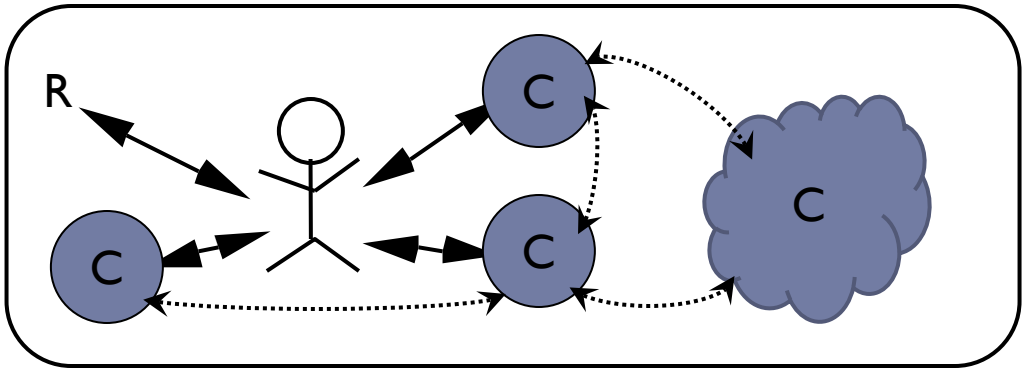
Reap of ICT role



2015 ©TAN Yasuo

「スマートIoT」　なシステム

- 従来型の計算機システムとも、組込み計算機システムとも異なる
- その二つの融合した形態に近い
  - 実世界とのやりとりがあること
    - センサ　アンド　アクチュエータ
    - CPS(Cyber Physical Systems)
  - ネットワークを利用し、個々の要素が連携すること
    - M2M(Machine to Machine), IoT(Internet of Things), IoE(Internet of Everything)
    - SoS(System of Systems)
  - インテリジェンスがネットワークのどこかにあること
    - クラウド
    - ビッグデータ



2015 ©TAN Yasuo

スマートIoTシステム実現の５要素

1. つなげる
   - 使える道具（情報）を確保する [コネクティビティの確保]
2. 感じる
   - 様子をみる、空気を読む [センシング、物理情報の取得]
3. 判断する
   - 知識に基づいて何をするか決める [制御、ビッグデータ]
4. 動かす
   - 手を出す、働きかける [アクチュエーション、物理的な作用]
5. 記憶する
   - 知識を蓄える [データベース化]

2015 ©TAN Yasuo

現在の状況

- 特定の分野、たとえばホームネットワークという分野では
  - HEMSのような特定のサービスについて、基礎的な要件は満たされつつある
  - クラウドの中のサービスインタフェースや、パーソナルデータなど、難しい問題に直面
  - 同じ住宅内で様々なサービスを受けるので、統合的なプラットフォームが有効

2015 ©TAN Yasuo

1. つなげる

- 一番歴史が古い研究分野で、成果も多数出ている
- 新規配線を必要としない技術で、現在利用可能となっているのは...
  - 電力線通信(PLC)
    - 低速の数kbpsどまりのもの （10k-450kHz帯域、屋外も可能）
    - 高速の200Mbpsくらいのもの （2M-30MHz帯域、基本的に屋内）
    - 低速(数百kbps)だけれどもすごく低消費電力なもの (10k-450kHz帯域、屋外も可能)
  - 同軸(アンテナ線)通信
    - 200Mbpsくらいのもの
  - 電話線(内線電話の線)通信
    - 日本ではあまり 使われていないが、200Mbps超の能力がある
  - 無線
    - Wi-Fi 速い無線
    - Bluetooth しぶとく動いて安全な無線
    - ZigBee, Z-Wave, Wi-SUN, 6LoWPAN 電池で何年も動く無線
  - 最新の動向は以下のTTCガイドラインを参照
  - http://www.ttc.or.jp/j/info/release/20121109/

2015 ©TAN Yasuo

1. つなげる　TR-1043に記載されている伝送技術

5-7	ECHONET Lite						Layer2のフレーム上にECHONET Lite
4	UDP / TCP						
3	IPv4 IPv6			IPv6 6LoWPAN	IPv4 IPv6	IPv6 6LoWPAN	
2	IEEE802.3 ファミリ	G.9961 G.9972	IEEE1901	ITU-T G.9903	IEEE802.11 ファミリ	IEEE802.15.1 ファミリ PANﾌﾟﾛﾌｧｲﾙ	IEEE802.15.4 IEEE802.15.4e
1	IEEE802.3 ファミリ	G.9960 G.9963 G.9964 G.9972	IEEE1901	ITU-T G.9903	IEEE802.11 ファミリ	IEEE802.15.1 ファミリ	IEEE802.15.4 IEEE802.15.4g
媒体	UTP 光ﾌｧｲﾊﾞ	電力線			電波 (2.4/5G)	電波 (2.4G)	電波 (2.4G/920M)(※)
	Ethernet	ITU-T G.hn	IEEE1901 JJ-300.20 JJ-300.21 HD-PLC	ITU-T G.hnem JJ-300.11 G3-PLC	Wi-Fi	Bluetooth	IEEE802.15.4/4e/4g JJ.300-10 Wi-SUN ZigBee IP, 920IP

記載されている技術は規格文書がフリーになる流れに

2015 ©TAN Yasuo

※2.4G は、ZIgBee IP のみ対応

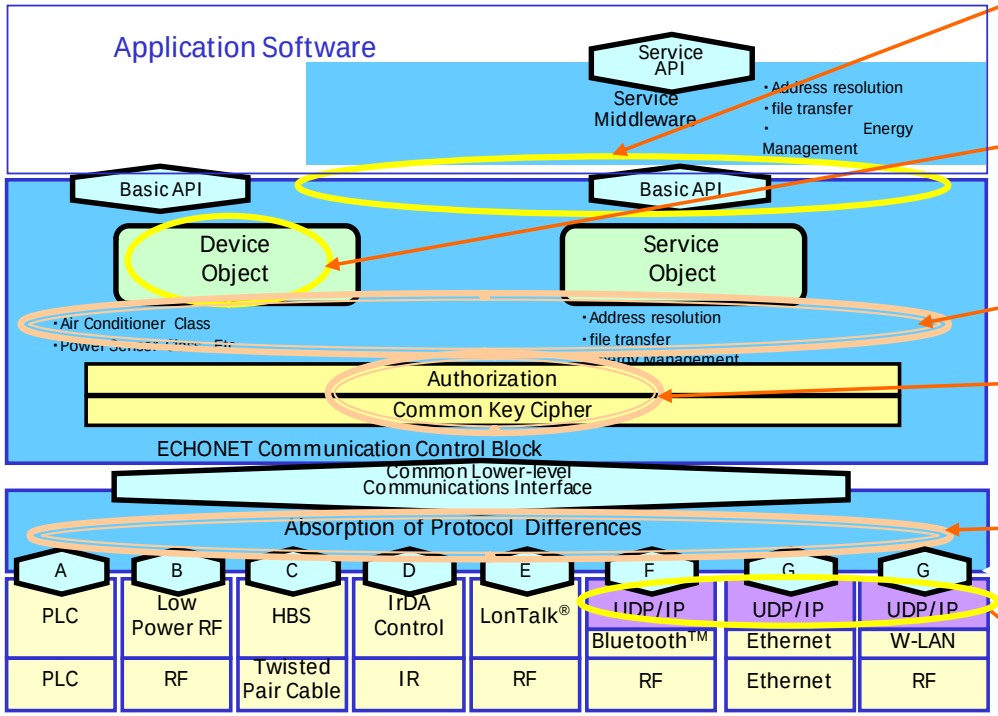
2. 感じる、4. 動かす

- ECHONETにみるセンサ、アクチュエータオブジェクト

クラスグループ	機器　13.10.31 Appendix Rel.D
センサ関連機器クラスグループ	ガス漏れセンサ, 防犯センサ, 非常ボタン, 救急用センサ, 地震センサ, 漏電センサ, 人体検知センサ, 来客センサ, 呼び出しセンサ, 結露センサ, 空気汚染センサ, 酸素センサ, 照度センサ, 音センサ, 投函センサ, 重荷センサ, 温度センサ, 湿度センサ, 雨センサ, 水位センサ, 風呂水位センサ, 風呂沸き上がりセンサ, 水漏れセンサ, 水あふれセンサ, 火災センサ, タバコ煙センサ, CO2センサ, ガスセンサ, VOCセンサ, 差圧センサ, 風速センサ, 臭いセンサ, 炎センサ, 電力量センサ, 電流値センサ, 水流量センサ, 微動センサ, 通過センサ, 在床センサ, 開閉センサ, 活動量センサ, 人体位置センサ, 雪センサ
空調関連機器クラスグループ	家庭用エアコン, 換気扇, 空調換気扇, 空気清浄器, 加湿器, 電気暖房機, ファンヒータ, 業務用パッケージエアコン室内機, 業務用パッケージエアコン室外機
住宅・設備関連機器クラスグループ	電動ブラインド・日よけ, 電動シャッター, 電動雨戸・シャッター, 電動ゲート, 電動窓, 電動玄関ドア・引き戸, 散水器（庭用）, 電気温水器, 電気便座（温水洗浄便座・暖房便座など）, 電気錠, 瞬間式給湯機, 浴室暖房乾燥機, 住宅用太陽光発電, 冷温水熱源機, 床暖房, 燃料電池, 蓄電池, 電気自動車充放電器, エンジンコージェネレーション, 電力量メータ, 水流量メータ, ガスメータ, LPガスメータ, 分電盤メータリング, スマート電力量メータ, スマートガスメータ, 一般照明, ブザー
調理・家事関連機器クラスグループ	電気ポット, 冷凍冷蔵庫, オーブンレンジ, クッキングヒータ, 炊飯器, 洗濯機, 衣類乾燥機, 洗濯乾燥機
健康関連機器クラスグループ	体重計
管理・操作関連機器クラスグループ	スイッチ(JEM-A/HA端子対応)
AV関連機器クラスグループ	ディスプレー, テレビ

2015 ©TAN Yasuo

2. 感じる、4. 動かす ECHONETの国際標準化



[IEC 62480] Multimedia Home Network - Network interface for network adapter

[IEC 62394] Service Diagnostic Interface for ECHONET

[ISO/IEC 14543-4-1] Communication Layers Part 1 (Upper Layer)

[ISO/IEC 24676] Secure Communication Middleware Protocol

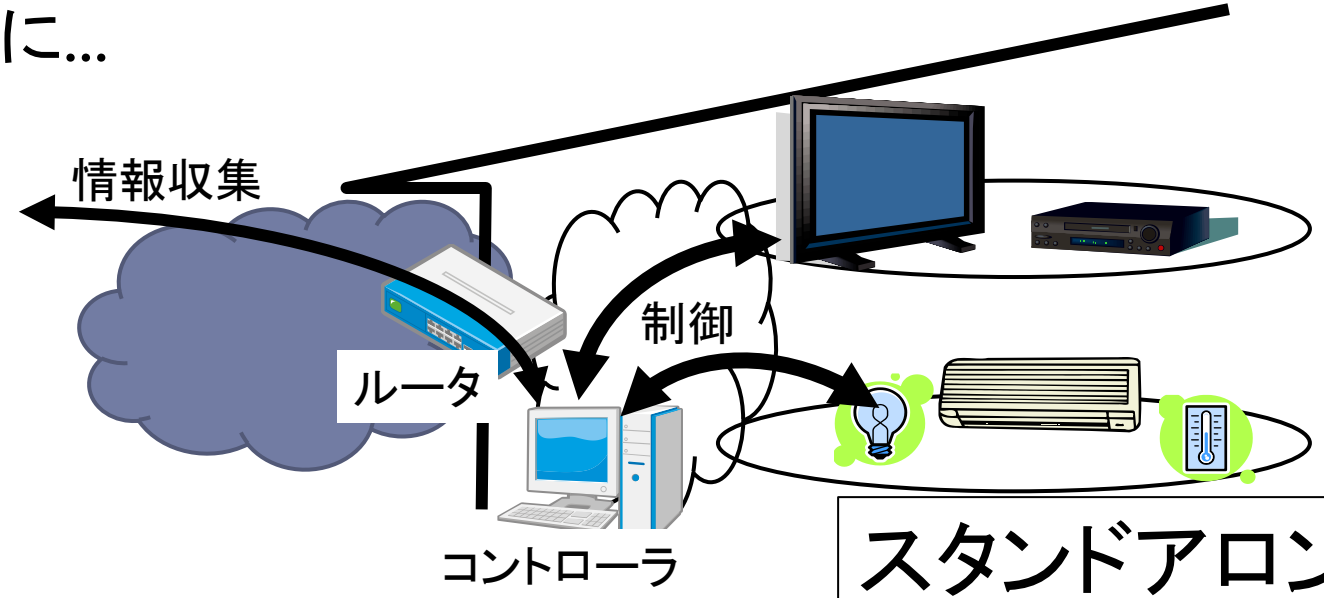
[ISO/IEC 14543-4-2] Communication Layers Part 2 (Lower Layer)

[IEC 62457] Home Network Communication Protocol over IP for Multimedia Household Appliances

2015 ©TAN Yasuo

3.&5.
どうやって　空気を読んで判断する?

- センサからの数字から適切な状況(コンテキスト)をよみとって動きにつなげるためには　かしこい　判断が必要
- 天気予報なんかも必要なら、外部に接続して調べる必要もある
- 高性能なコンピュータと、家庭ごとに異なるプログラムが必要に…

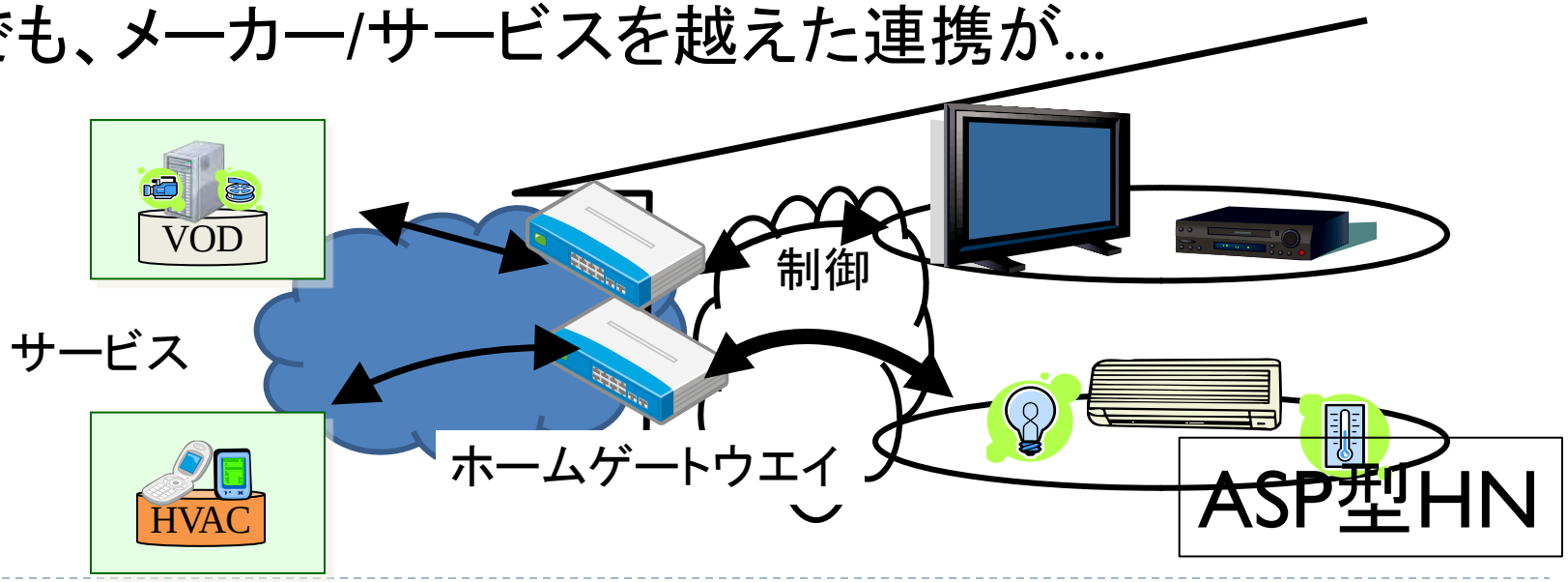


スタンドアロン型HN

2015 ©TAN Yasuo

3.&5.
ソフトウエア開発と管理が…

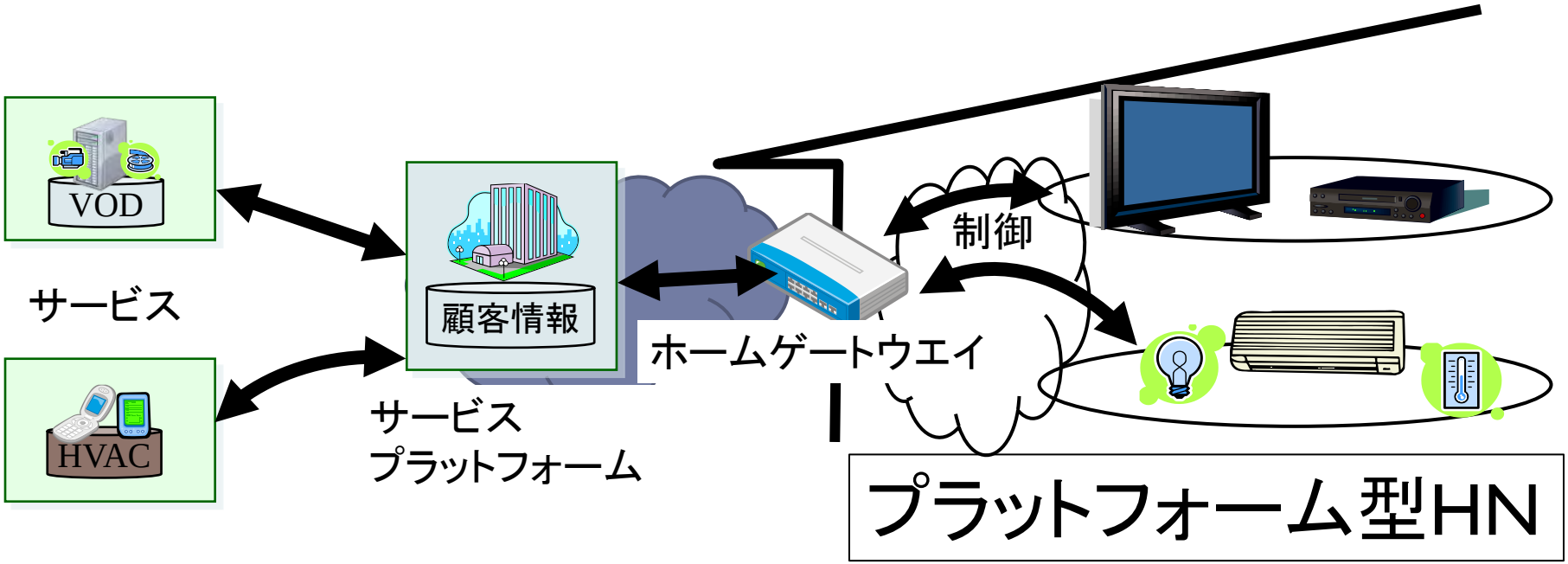
- ソフトウエアはネットのどこかにあるサービス内のコンポーネントの組み合わせで実現
- 高度な処理も管理もアウトソーシング
- 家の中には　ホームゲートウエイ　というお弁当箱サイズのものだけ
- でも、メーカー/サービスを越えた連携が…



2015 ©TAN Yasuo

3.&5.
異なるサービスや機器の連携は…

- サービスプラットフォームという仲介者の出現
- サービスを考える会社と機器をつくる会社が分離可能に
- ホームゲートウエイはプラットフォームの一部として働く



- この形だと「感じる、動く」だけでなく「記憶する」も容易に

2015 ©TAN Yasuo

現在の状況

- 特定の分野、たとえばホームネットワークという分野では
  - HEMSのような特定のサービスについて、基礎的な要件は満たされつつある
  - クラウドの中のサービスインタフェースや、パーソナルデータなど、難しい問題に直面
  - 同じ住宅内で様々なサービスを受けるので、統合的なプラットフォームが有効
- しかし、一般的な「スマートIoT」ということでは
  - 新たな伝送媒体がどんどん出現
  - 新たな機器も次々と出現
  - サービスをまたがるクラウドが有効かどうかは直近では判断がつきかねる

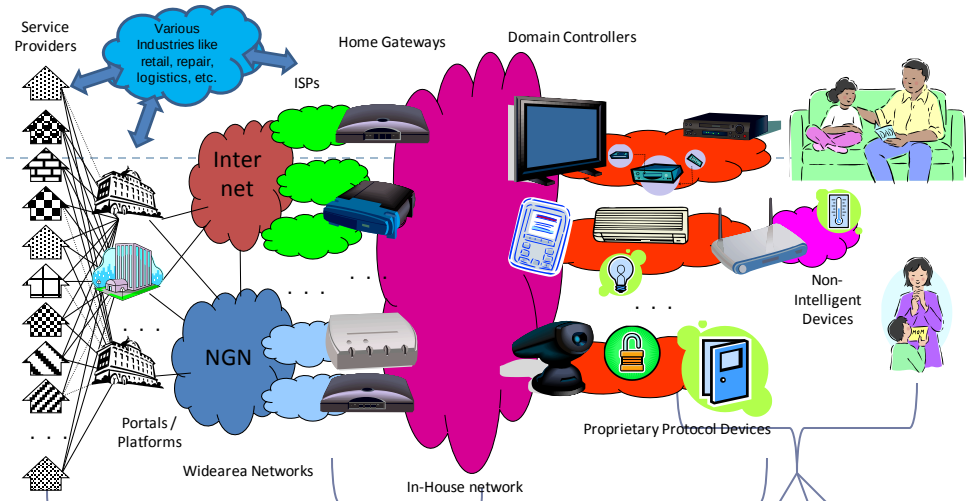
標準化という話が出てくる前の状況

2015 ©TAN Yasuo

研究開発テストベッド

CHADANS

(Cloud-computing empowered Home-network Architecture testbeD for Ambient Network Systems)



StarBED
(NICT STC)

Protocol-based HN Emulator

iHouse

SuperComputers
(JAIST ISC)

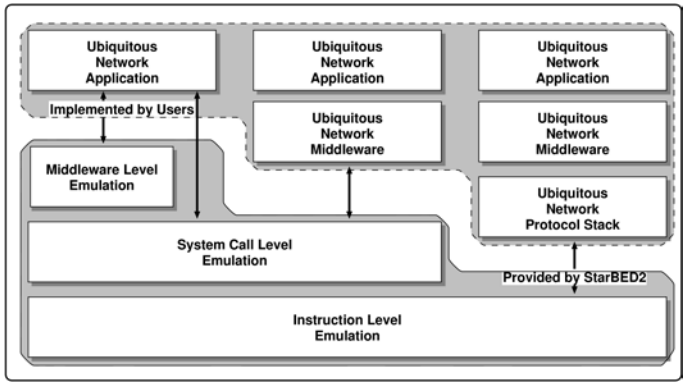
Environment Simulator

TANS2

2015 ©TAN Yasuo

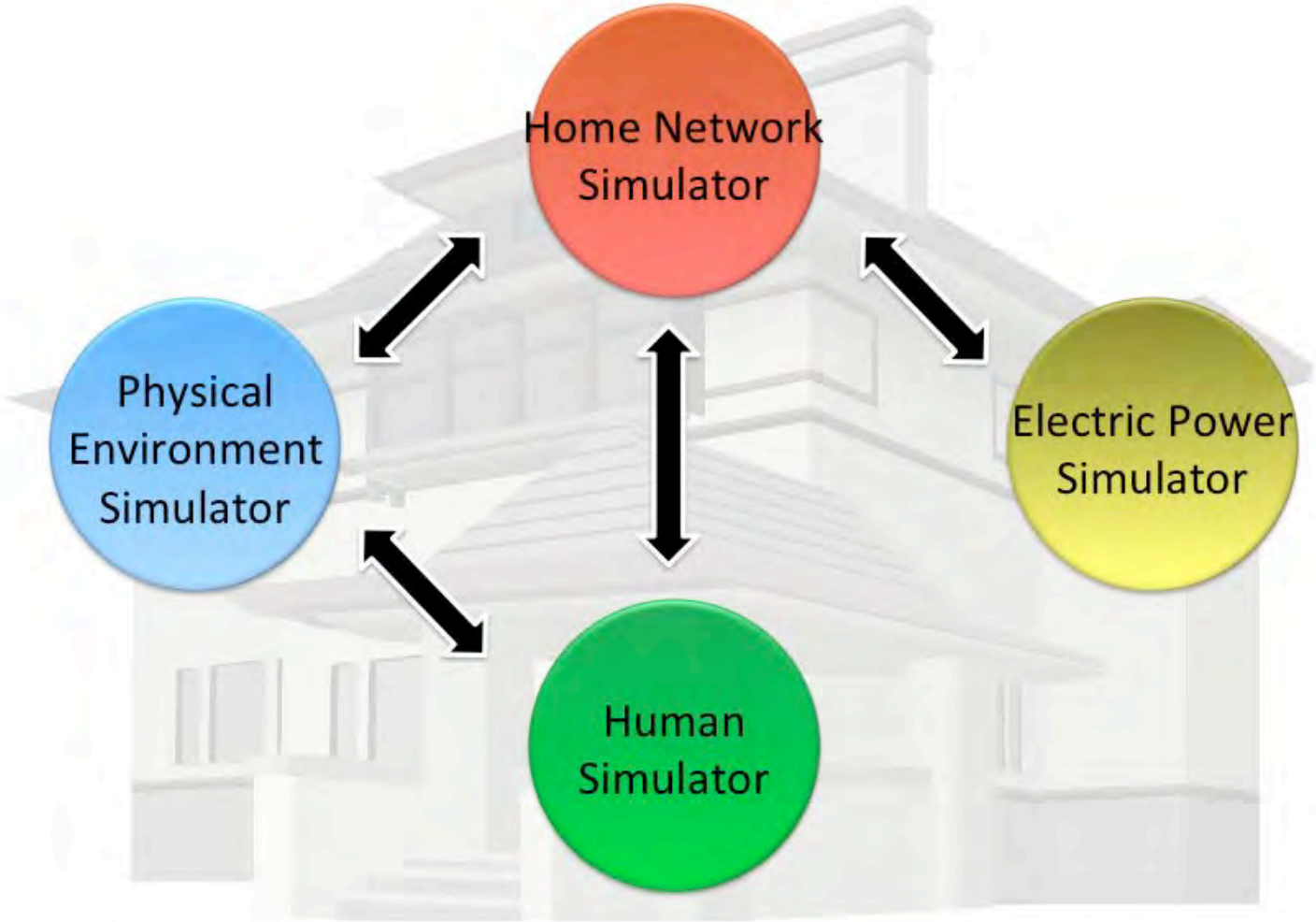
ホームネットワークシミュレータ

- エミュレーションアプローチ
  - ターゲットシステムの実コードを実行する
  - 実時間での稼働を基本とする
    - エミュレータの処理が間に合わない場合には定数時間倍の動作を行う
  - 実機とシミュレータのコンポーネントとの連動、入れ替えが可能
    - 2世帯だけ実物で、それ以外の99,998世帯はシミュレータ内　など
- 実物、エミュレーション、シミュレーションの三位一体
- ハードウエアは汎用のIAクラスタを基本
- マルチレベルエミュレーション
  - どのレベルで"実物"にするか
    - バイナリレベル(プロセッサエミュレーション)
    - システムコール、ライブラリレベル(OSエミュレーション)
    - APIレベル(ミドルウエアエミュレーション)
    - 挙動レベル(機器・システムエミュレーション、統計モデル)



2015 ©TAN Yasuo

ホームネットワークシミュレータ



岡田、牧野、Kim、中田、丹、"住宅におけるエネルギーマネジメントの効果を検証する実証的ホームシミュレータの提案と実装"、情報処理学会論文誌、Vol.53、No.1、pp.365-378 (Jan.2012)

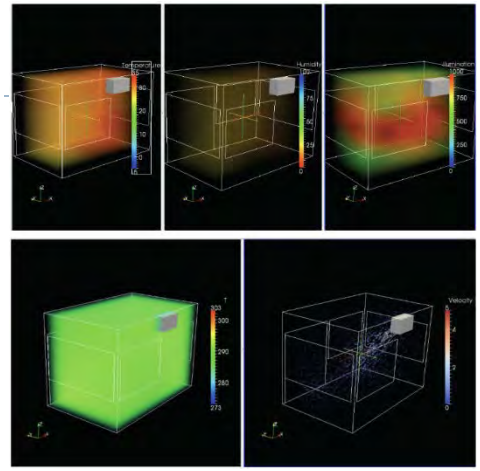
2015 ©TAN Yasuo

シミュレータ基本ソフトウエア群

- SpringOS
  - シミュレーション実行の支援環境(オペレーションシステム)
  - 物理ネットワークトポロジをVLANにより自動生成
  - VMWareを利用したノードの仮想化
  - ノードへのOS、ミドルウエア、シミュレーション対象の自動インストール
  - 各種パラメータの自動設定と、実験終了後の結果の自動収集
- Rune (Real-time Ubiquitous Network Emulation environment)
  - 複数の機器や物理量が互いに連動するシミュレータを構築するためのプログラミングフレームワークとライブラリ群
  - Space and Conduitモデル
    - シミュレータを計算するSpaceと、その間で物理量をやりとりするConduit
  - プロセッサエミュレータ、モジュールエミュレータ、無線区間エミュレータ(QOMET, Chanel)など、各種のRuneTools

2015 ©TAN Yasuo

実空間シミュレータ

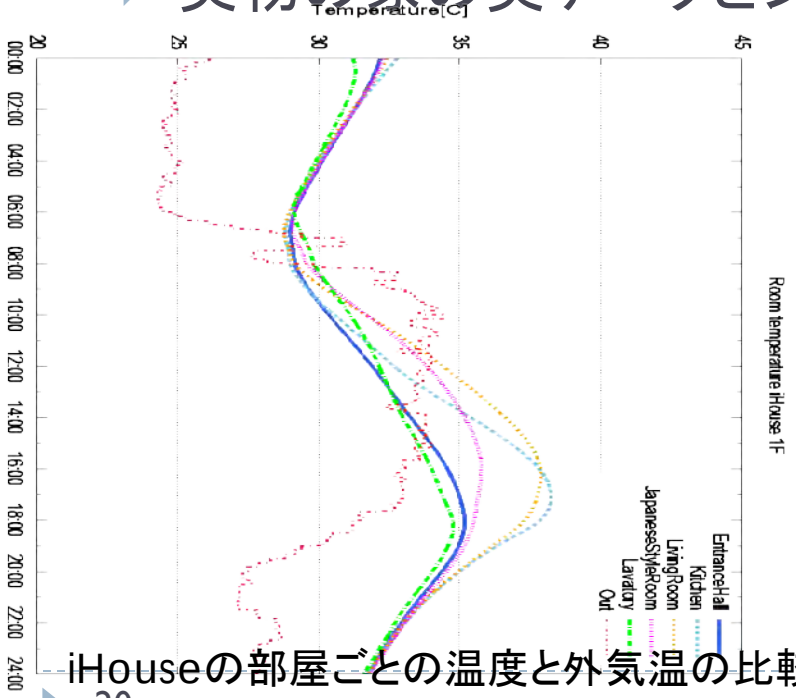


- 物理量
  - 場の計算による物理量の変化を追いかけるシミュレーション
    - 例:宅内の温湿度や明るさといった一戸内の環境
    - 例: 市街地の風の流れと、各戸の窓自動制御の効果の関係
- イベント
  - 因果関係に基づくイベントの生成を追いかけるシミュレーション
    - 例: ボタン操作による機器の稼働状態変化、それに伴う電力変化
    - 例: 気温の上昇に基づくユーザーのエアコン操作、それに伴う電力増加
- これらの性質が異なるシミュレーションをホームネットワークシミュレータに統合
  - 時間軸合わせの仕組みが必要
  - CFDやグリッドなど、既存の計算プラットフォームとホームネットワークシミュレータとのインタフェースが必要
  - ベクトル計算機やGPGPUなど、適切なハードウエアを要求
  - 典型的なシミュレーションを行なうシミュレータモジュールを用意

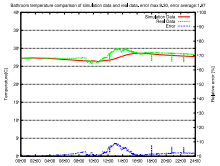
2015 ©TAN Yasuo

ホームネットワークシミュレーション
物理環境シミュレータ

- 流体、熱伝導計算によるシミュレーション
  - 伝導、対流、放射の物理環境モデルの導入
  - 実物の家の特性(壁、窓、カーテン、地域、気候)を反映した物理環境シミュレーションの実現
  - 実物の家の実データとシミュレーション結果の比較



iHouseの部屋ごとの温度と外気温の比較
(横軸:時間、縦軸:温度)



iHouseの部屋ごとの温度の実データとシミュレーション結果の比較

©TAN Yasuo 2015

100万世帯を可能とするスケーラビリティ

- Runeのマルチレベルエミュレーションによる階層的モデル化
  - 家電単位、世帯単位、町内単位、市単位など、詳細度と処理負荷とのトレードオフで対象のモデル化単位を選択
  - モデル単位で実データを反映
- SpringOSによる作業自動化
  - シミュレーション環境の構築自体をスクリプトプログラムで実現
- StarBEDとの接続
  - 1000ノードを超えるNICT北陸リサーチセンターのStarBEDハードウエアと10Gbpsのダークファイバで接続し、必要に応じてホームネットワークシミュレータのハードウエアを増大
- 北陸先端大情報科学センター計算機群との接続
  - 実空間シミュレータ部分を超並列計算機やベクトル計算機で実行

2015 ©TAN Yasuo

社会システムのシミュレーション

- スマートメーターネットワーク
  - 配置や通信方式による他の通信との干渉
- スマートコミュニティ
  - 単体の家庭ではなく、街区レベルでエネルギーマネジメント
  - 電気学会の調査専門委員会との連携による、リアルなモデルの構築
- スマートシティ
  - 電力、熱といったエネルギー
  - 交通、物流
  - 上下水
  - 気温などの環境への影響、EMC

2015 ©TAN Yasuo

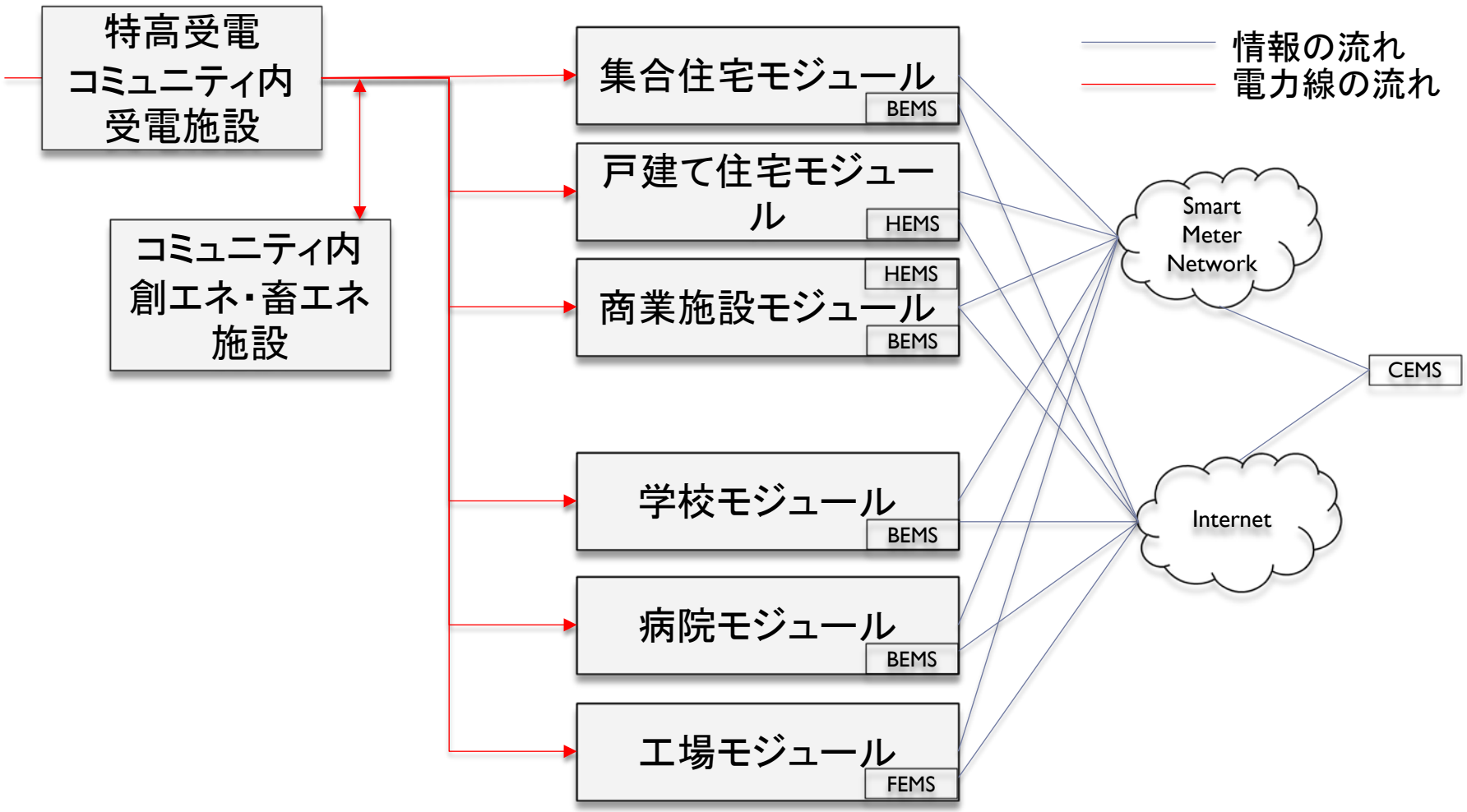
スマートコミュニティシミュレータ

- コミュニティの中核施設(学校、病院、工場のいずれか)を選択し、その他のコミュニティの構成要素の構成や、構成要素間の通信を与えることで様々なコミュニティが構成できるシミュレータ
  - テンプレートの書き換えでコミュニティを定義
  - モジュール間の情報のやりとりはOpenADRのサブセットを利用
- 実装方針
  - 送配電の過渡特性のような物理現象は当初は扱わない
  - 熱融通についても、簡単な値のやりとりのみ
  - CEMS、FEMS、BEMS、HEMSのアルゴリズムについてはシンプルなものを実装するが、これは書き換えが容易なモジュール
  - 今月あたりに公開

H.24-26 総務省　先進的ICT国際標準化推進事業　スマートコミュニティにおける
エネルギーマネジメント通信技術　による成果

©TAN Yasuo　2015

スマートコミュニティシミュレータ概要



©TAN Yasuo 2015

今後のスマートIoTテストベッドに求められるもの

- 通信技術のバリエーションに対応
  - 特に無線技術やPLCの精密なシミュレーション
  - 今後増える新規格へのタイムリーな追従
  - EMCとの関連も重要な課題
- 爆発的に増えつつあるミドルウェア規格への対応
  - OneM2M, W3C WoT, IIC, AllJoyn, ALLSeen, Thread, IPSO, OIC(IoTivity), HomeKit, Nest, OMA GotAPI, ECHONET, ZigBee, KNX, etc.
- 物理現象への対応
  - 無線やモデムによる通信
    - スマートメーターの通信シミュレーション
  - 電力網に代表される物理特性を有する広域インフラ
    - 水道や道路のモデルも
- ユーザーのモデリング

2015 ©TAN Yasuo

おわりに

- StarBEDはインターネット上の技術を大規模に検証できるところから、StarBED2で実世界の要素を取り入れ、StarBED^{3}では様々なシミュレーション手法を実現可能とする段階にきている
- スマートハウスシミュレーション、スマートコミュニティシミュレーションという形での具体的成果
- 今後、成果展開として、実ビジネスで使えるレベルへとスマートコミュニティシミュレータをリファインしつつ、一般的なスマートIoTシステムの開発を支援するシミュレータとしての開発が望まれる

2015 ©TAN Yasuo