

仮想社会実験を志向する 「スマート」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 サブリーダー

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

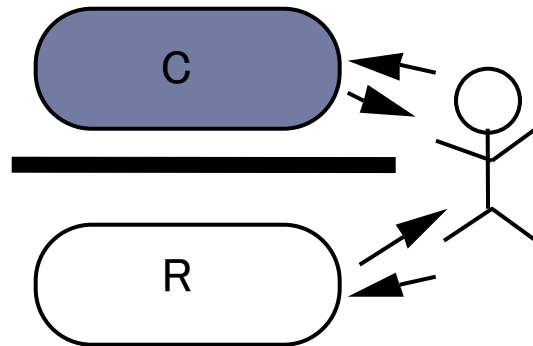
北陸先端科学技術大学院大学 / 情報通信研究機構

丹 康雄 ytan@jaist.ac.jp

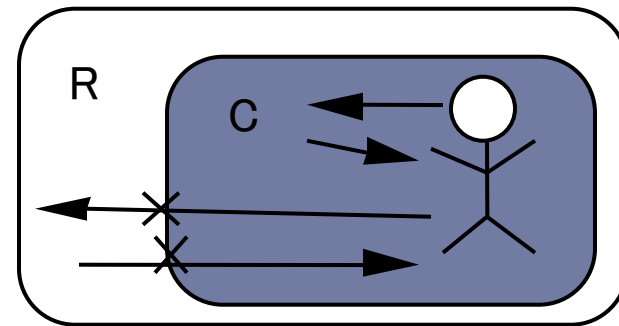
2014.01.10

コンピューティングの形態

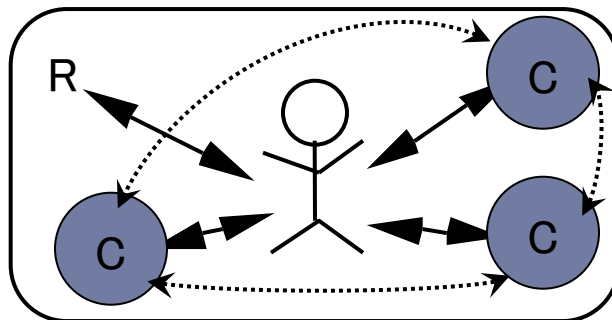
- ▶ ユーザー、コンピュータ、実世界の物体 の位置関係



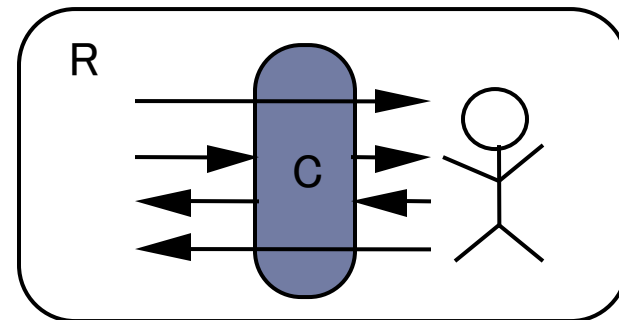
(a) GUI



(b) Virtual Reality



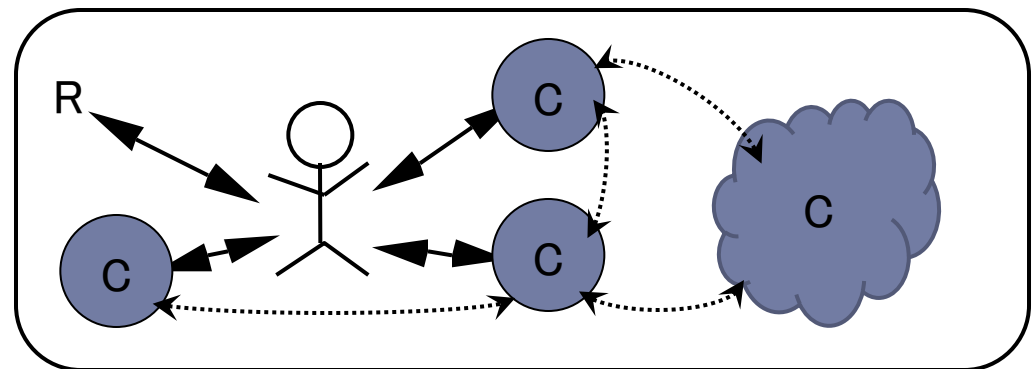
(c) Ubiquitous computing



(d) Augmented/Mixed Reality/Virtuality

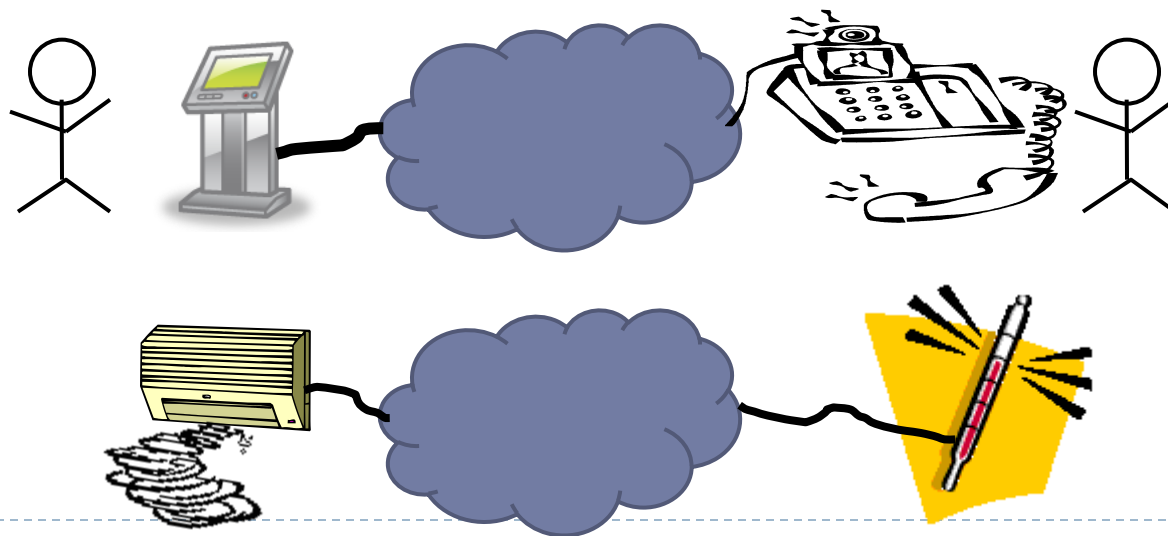
「スマート」なシステム

- ▶ 従来型の計算機システムとも、組み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
 - ▶ 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)
 - ▶ 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



Machine to Machine (M2M)の通信

- ▶ ヒトとヒトではなく、モノとモノの通信
- ▶ ヒトとヒトの通信でも両側に端末が存在するが、ヒトがインテリジェンスを持つ
- ▶ M2Mの場合には端末の後ろにヒトがいない
- ▶ ヒトとモノが同じ空間内に存在していることで間接的にヒトに貢献する



スマートシステム実現の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
 - ▶ 様子を見る、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]

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 (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
 - ▶ 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/>

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 ECHONE T Lite
4	UDP / TCP							
3	IPv4 IPv6		IPv6 6LowPA N	IPv4 IPv6		IPv6 6LowPA N		
2	IEEE802.3 ファミリ	G.9961 G.9972	IEEE1901	ITU-T G.9903	IEEE802.1 1ファミリ	IEEE802.15. 1 ファミリ PAN ⁷ <small>ファイル</small>	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	IEEE802.1 1ファミリ	IEEE802.15. 1 ファミリ	IEEE802.15.4 IEEE802.15.4g	
媒体	UTP 光ファイバ	電力線			電波 (2.4/5G)	電波 (2.4G)	電波 (2.4G/920M) (※)	

Ethernet ITU-T IEEE1901 ITU-T G.9903 Wi-Fi Bluetooth IEEE802.15.4/4e/4g
G.hn

※2.4G は、ZigBee-IP のみ対応

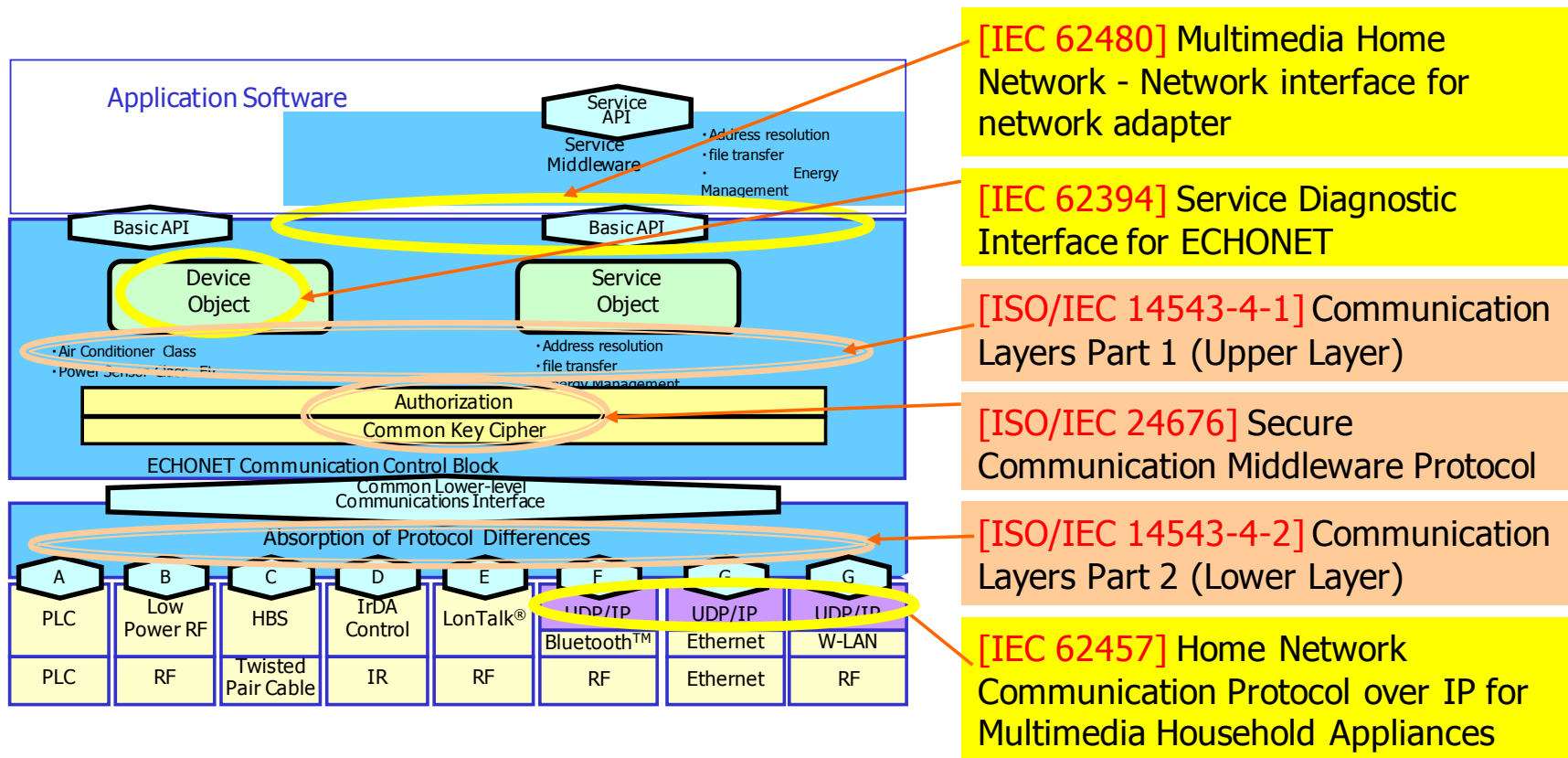
TCP、2.4GHz ZigBeeなどが追加されたVer.4.1が2013.12に発行された
記載されている技術は規格文書がフリーになる流れに

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	ディスプレイ, テレビ	

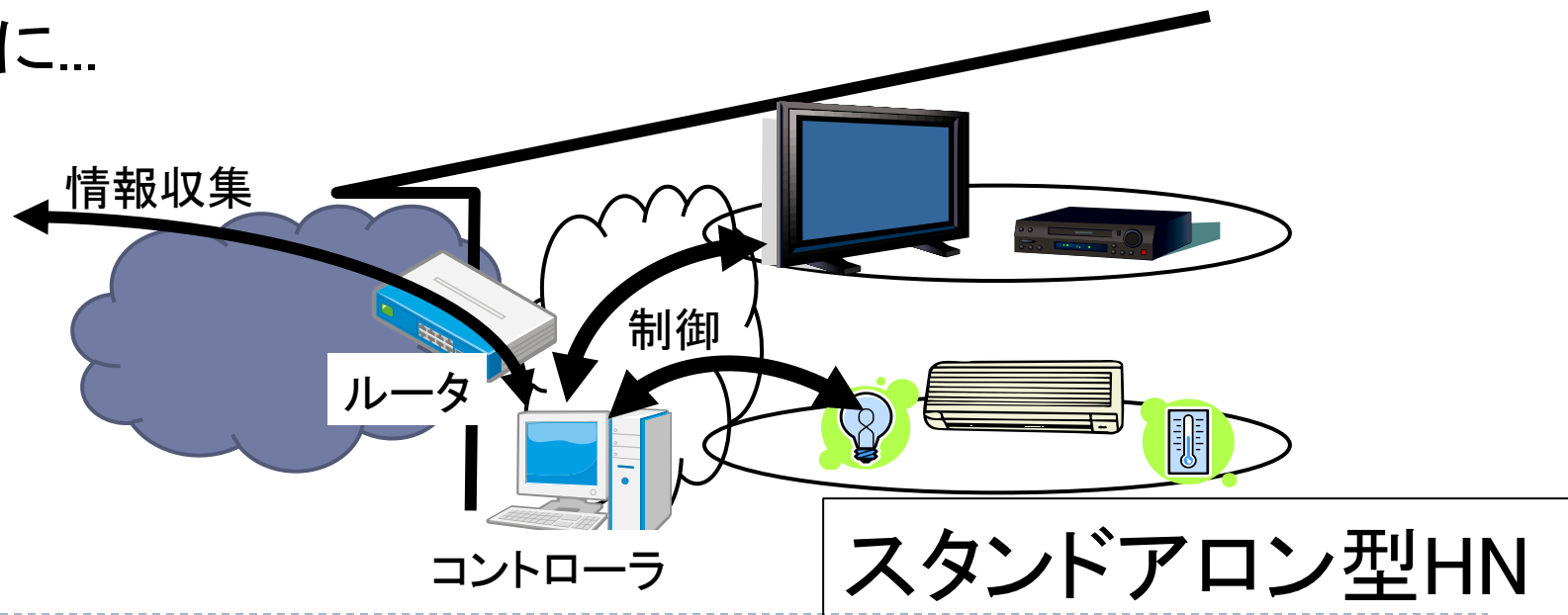
2. 感じる、4. 動かす ECHONETの国際標準化



3.&5.

どうやって 空気を読んで判断する?

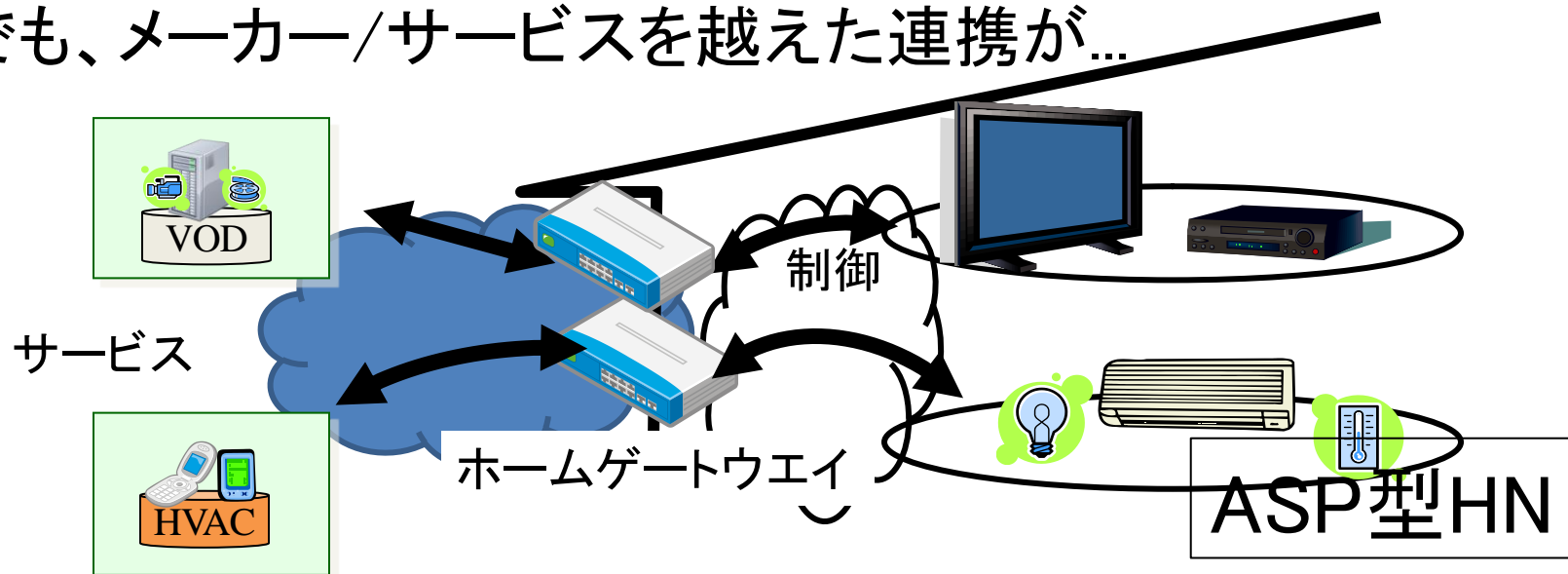
- ▶ センサからの数字から適切な状況(コンテキスト)をよみとって動きにつなげるためには かしこい 判断が必要
- ▶ 天気予報なんかも必要なら、外部に接続して調べる必要もある
- ▶ 高性能なコンピュータと、家庭ごとに異なるプログラムが必要に...



3.&5.

ソフトウェア開発と管理が...

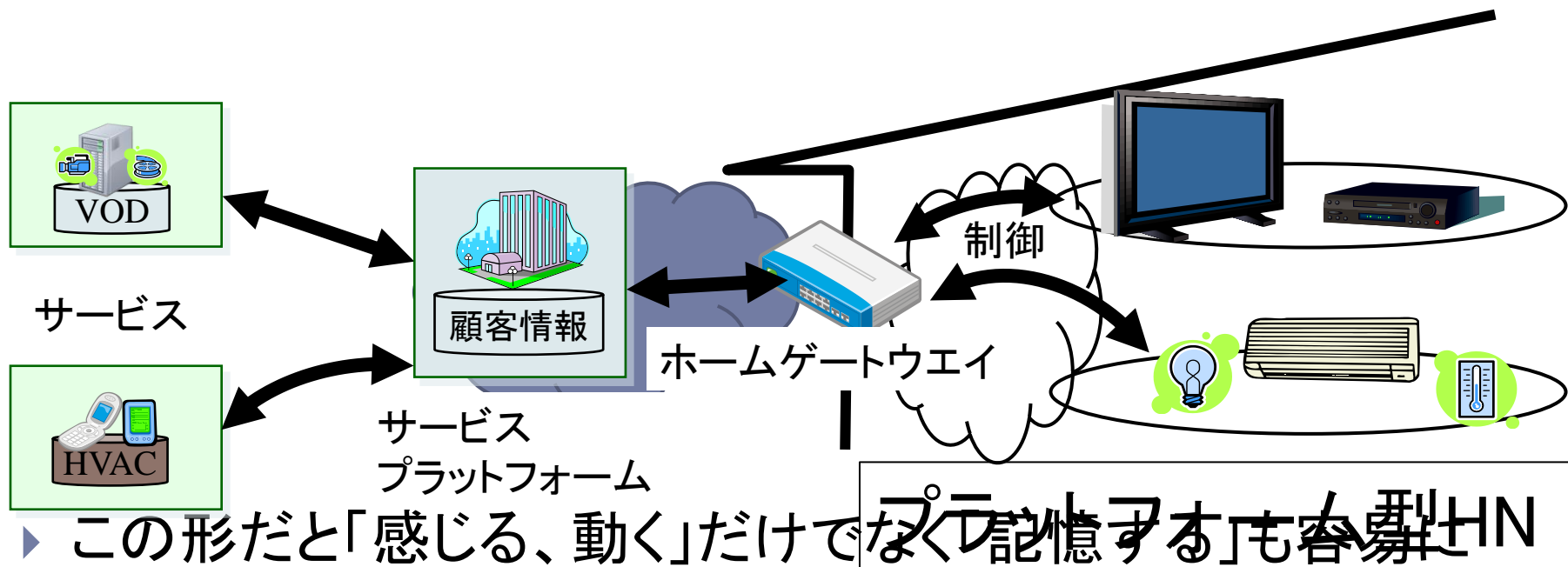
- ▶ ソフトウェアはネットのどこかにあるサービス内のコンポーネントの組み合わせで実現
- ▶ 高度な処理も管理もアウトソーシング
- ▶ 家の中には ホームゲートウェイ というお弁当箱サイズのものだけ
- ▶ でも、メーカー/サービスを越えた連携が...



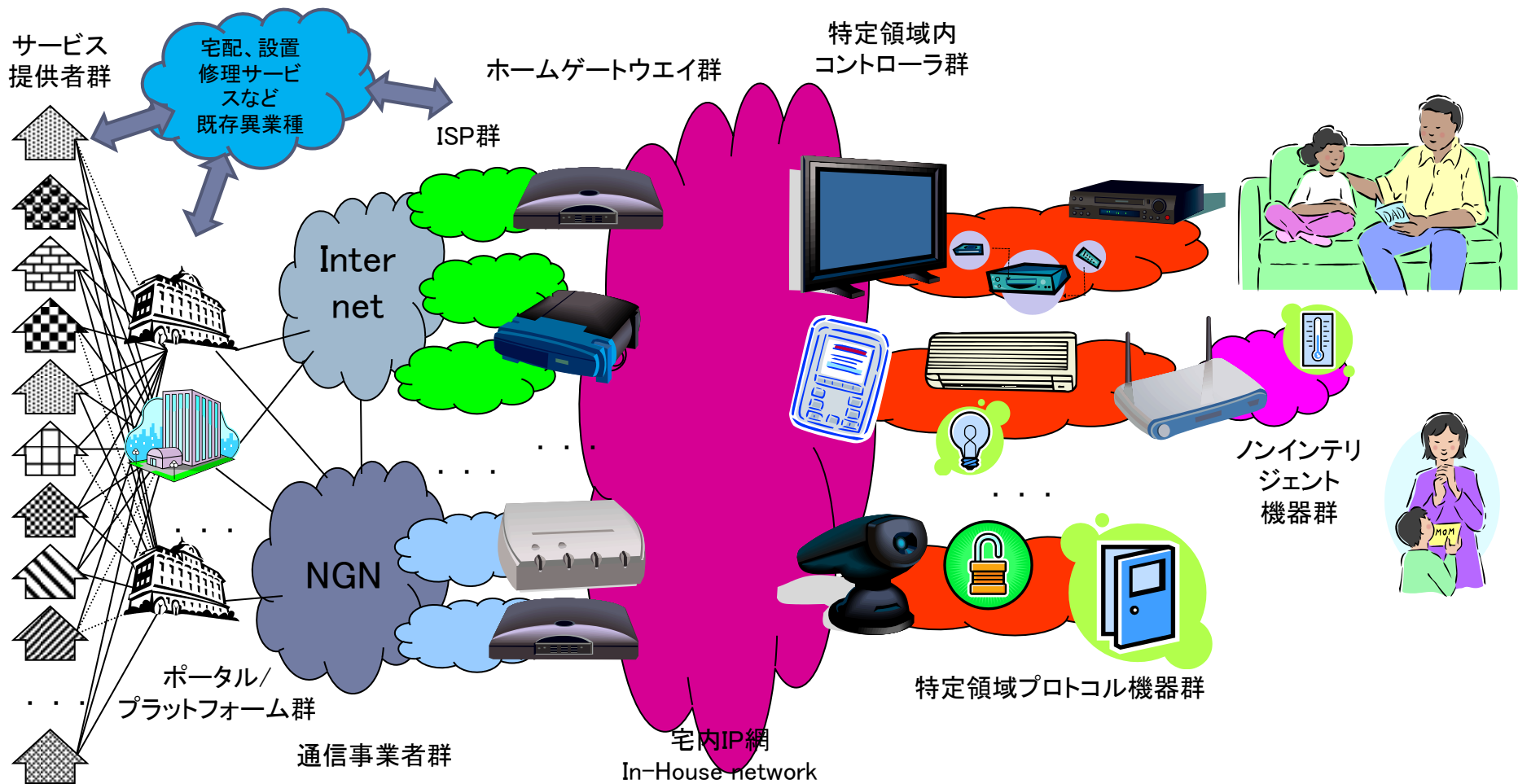
3.&5.

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
- ▶ ホームゲートウェイはプラットフォームの一部として働く

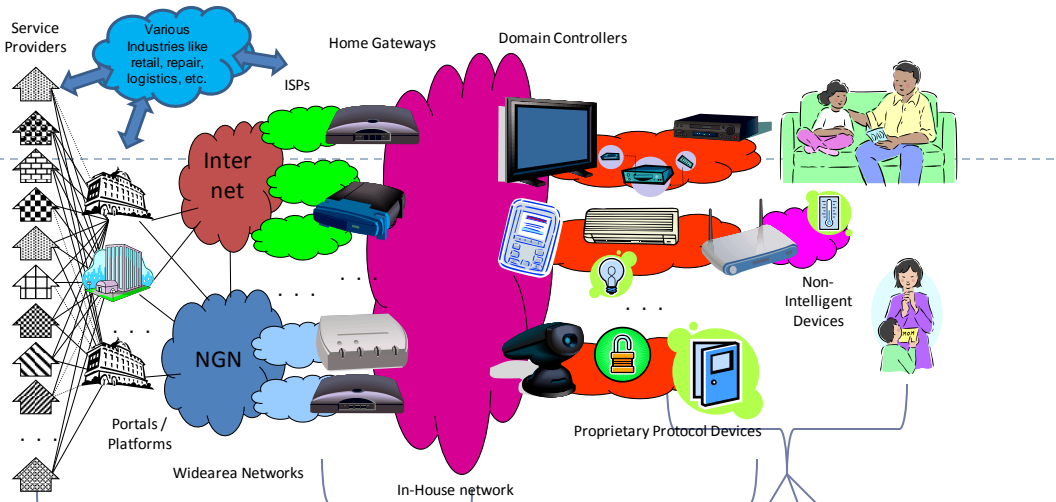


次世代ホームネットワーク = 家電を端末としたクラウド(2007年当時の構想)



CHADANS

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



StarBED
(NICT STC)



SuperComputers
(JAIST ISC)



Protocol-based HN Emulator



Environment Simulator



iHouse



TANS2



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

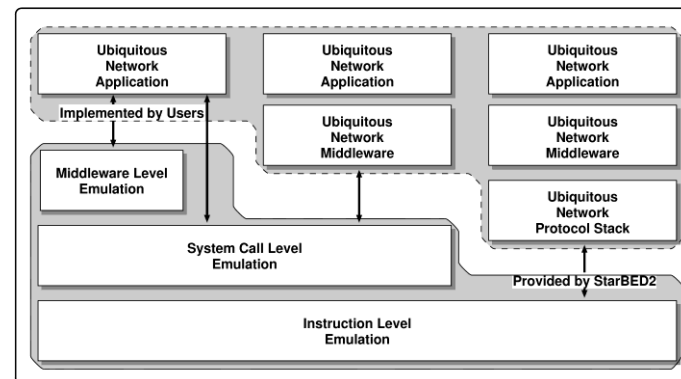
- ▶ ターゲットシステムの実コードを実行する
- ▶ 実時間での稼働を基本とする
 - ▶ エミュレータの処理が間に合わない場合には定数時間倍の動作を行う
- ▶ 実機とシミュレータのコンポーネントとの連動、入れ替えが可能
 - ▶ 2世帯だけ実物で、それ以外の99,998世帯はシミュレータ内 など

▶ 実物、エミュレーション、シミュレーションの三位一体

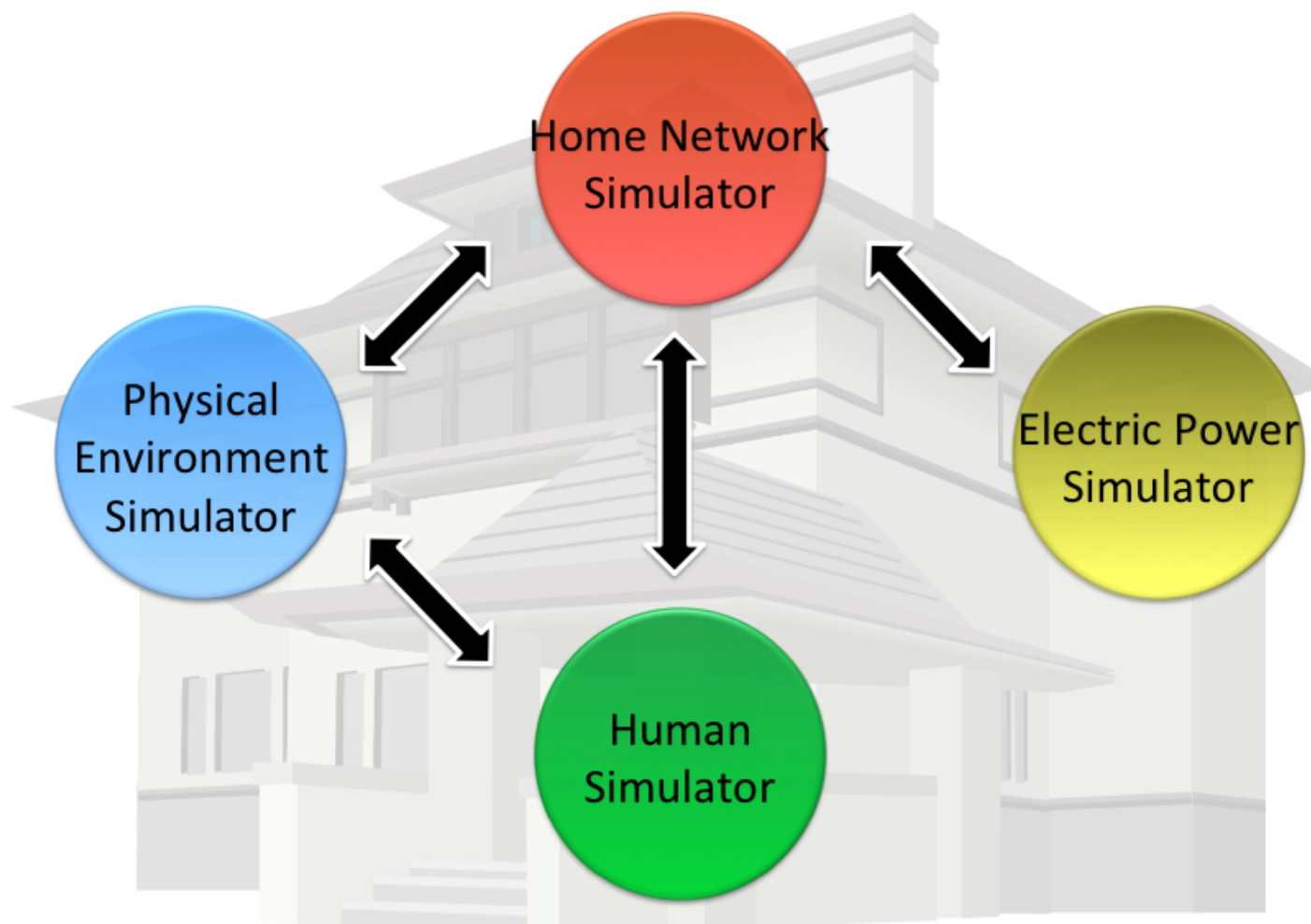
▶ ハードウェアは汎用のIAクラスタを基本

▶ 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(ミドルウェアエミュレーション)
 - ▶ 拳動レベル(機器・システムエミュレーション、統計モデル)



ホームネットワークシミュレータ



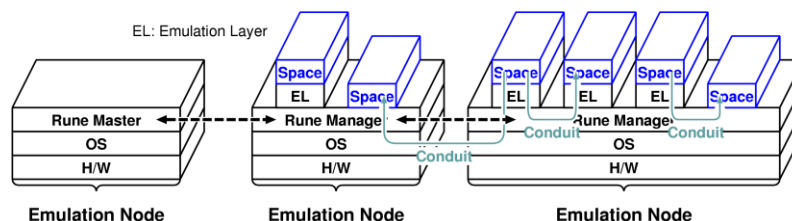
岡田、牧野、Kim、中田、丹、“住宅におけるエネルギーマネジメントの効果を検証する実証的ホームシミュレータの提案と実装”、情報処理学会論文誌、Vol.53、No.1、pp.365-378 (Jan.2012)

シミュレータ基本ソフトウェア群

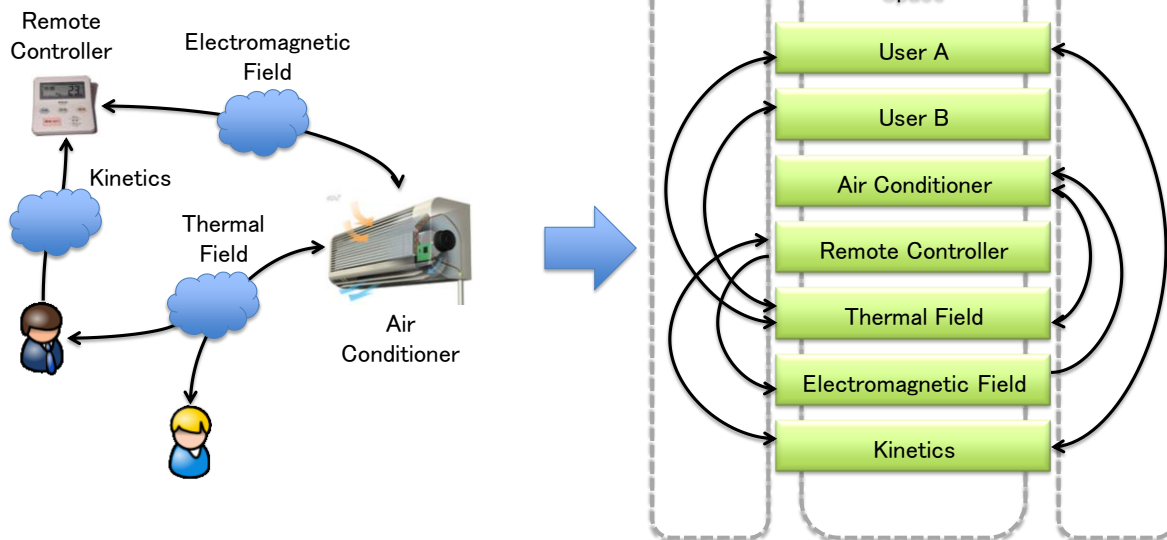
- ▶ SpringOS
 - ▶ シミュレーション実行の支援環境(オペレーションシステム)
 - ▶ 物理ネットワークトポロジをVLANにより自動生成
 - ▶ VMWareを利用したノードの仮想化
 - ▶ ノードへのOS、ミドルウェア、シミュレーション対象の自動インストール
 - ▶ 各種パラメータの自動設定と、実験終了後の結果の自動収集
- ▶ Rune (Real-time Ubiquitous Network Emulation environment)
 - ▶ 複数の機器や物理量が互いに連動するシミュレータを構築するためのプログラミングフレームワークとライブラリ群
 - ▶ Space 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

Rune

- ▶ ホストOSごとに稼働するRune ManagerがConduit通信を提供



- ▶ シミュレーション対象ごとにSpaceを割り当て、Conduitで値をやりとり



実空間シミュレータ

▶ 物理量

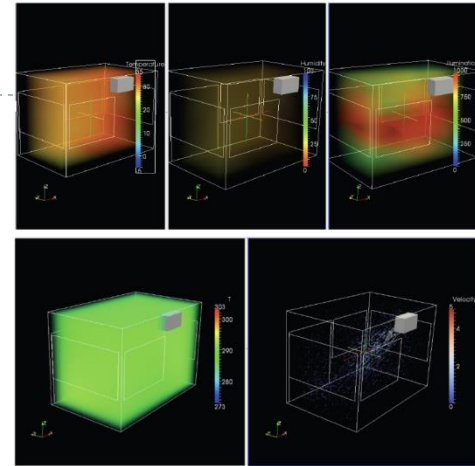
- ▶ 場の計算による物理量の変化を追いかけるシミュレーション
 - ▶ 例: 宅内の温湿度や明るさといった一戸内の環境
 - ▶ 例: 市街地の風の流れと、各戸の窓自動制御の効果の関係

▶ 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

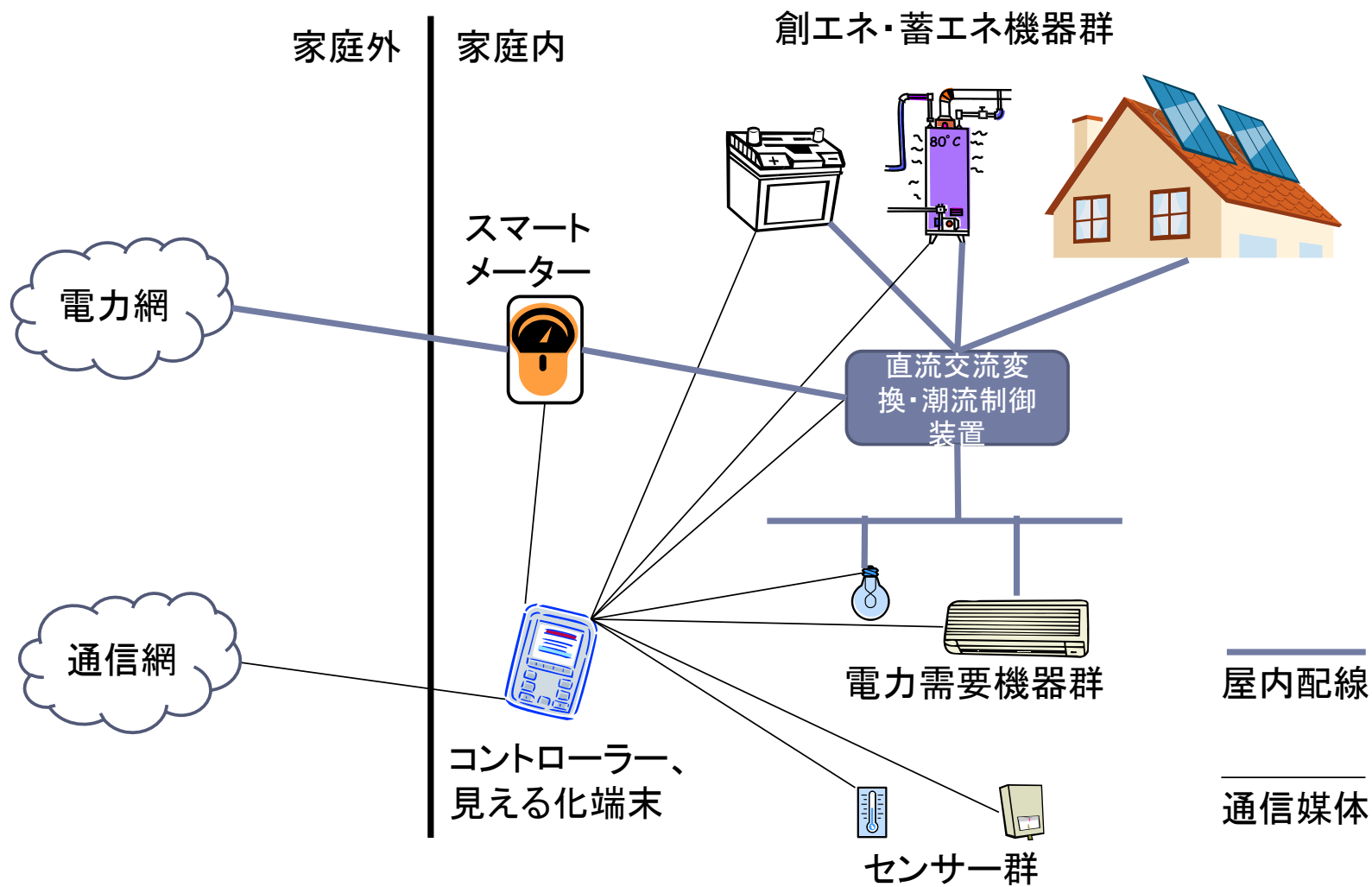
- ▶ 時間軸合わせの仕組みが必要
- ▶ CFDやグリッドなど、既存の計算プラットフォームとホームネットワークシミュレータとのインターフェースが必要
- ▶ ベクトル計算機やGPGPUなど、適切なハードウェアを要求
- ▶ 典型的なシミュレーションを行なうシミュレータモジュールを用意



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ハードウェアと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ェアを増大
- ▶ 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

スマートハウス



HEMSの分類観点

- ▶ 制御があるのかないのか(見える化システムなのか、自律動作するシステムなのか)
 - ▶ 見える化はユーザー(の良心)に動作判断を委ねるので、
 - ▶ ユーザーの関知しないことはできない
 - ▶ ユーザーのやりたくないことはしない
 - ▶ ユーザーの生活そのものを変える可能性がある
- ▶ 創エネ・蓄エネ機器があるのかないのか
 - ▶ ない場合にはもっぱら需要の抑制(総量削減)という観点に
 - ▶ 創エネが入ると自立に向けて一歩を踏み出すことにはなるが、実際には蓄エネがない限りうまく使うことは難しく、逆潮流のように、誰かにぶら下がらねばならない
 - ▶ 蓄エネが入ると作ったエネルギーのタイムシフト利用という観点が入り、創エネを使い切ることが加わるとCO2削減にもなる

スマートハウスのシミュレーション例

- ▶ 見える化とユーザーにアドバイスを出すHEMSシステム
 - ▶ 電力の計測だけで実現できるシステム
 - ▶ 制御なし
 - ▶ 実装コストが低い
 - ▶ 見える化やアドバイスの効果は完全にユーザー任せ
 - ▶ 見える化の表示をどれくらい意識して省エネ行動をとるか
 - ▶ どれくらいの割合でアドバイスを聞き入れるか
 - ▶ どういった行動をとる人がどれくらいの割合にいるか
 - ▶ 世帯単位だとどう振る舞うことになるか
- ▶ 2つのシミュレーション
 - ▶ 順方向で効果を予測
 - ▶ 逆方向で結果データから行動を推定

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
 - ▶ 蓄電池や分散発電の設備をコミュニティ単位で共有
 - ▶ 電力だけでなく熱の融通も
- ▶ スマートシティ
 - ▶ 電力、熱といったエネルギー
 - ▶ 交通、物流
 - ▶ 気温などの環境への影響、EMC
- ▶ 何れも人間の活動の要素が重要に

ユーザーのモデリング

- ▶ 静的な動作をするユーザーモデル
 - ▶ 決められた時間/条件で特定の動作をする
 - ▶ ある統計値から生成された個々の動作をする
- ▶ 動的な動作をするユーザーモデル
 - ▶ ランダムな動作をする
 - ▶ ある統計値に従うようにランダムな動作をする
 - ▶ 一人の人間の行動として一貫性のあるような動作をする
 - ▶ 人間の欲望などのメカニズムにもとづいて動作をする
- ▶ 複数のユーザー同士のインタラクション
 - ▶ ユーザーの行動が他のユーザーの行動に影響を与える
 - ▶ 家族など、ユーザーの間の影響力に差があり、全体として誰かの動作が支配的になる
 - ▶ 複数のユーザーの間で折り合いをつける

仮想社会実験

- ▶ 特定のエリアで実際に試行してみるのが社会実験
- ▶ 実際にユーザーがどのような判断をしてどう振る舞うのかがわかるのが最大の利点
- ▶ 多大なコストがかかる

- ▶ ユーザーモデリングまでを含めたシミュレータを細粒度でつくり込むことで仮想空間上で社会実験を行える可能性がある
 - ▶ どのような「キャラクタ」のユーザーがどれだけの比率でいるとどうなるかを繰り返し検討することも可能に

おわりに

- ▶ StarBEDはインターネット上の技術で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、StarBED³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
- ▶ 実空間とサイバー空間とユーザーが互いに密接にインタラクションをとるユビキタス/サイバーフィジカルなシステムにおいてはユーザーの行動がシステムの動作に大きな影響を与える
- ▶ ユーザーがある状況でどのように振る舞うかは、従来は社会実験のような大掛かりな手段でしかわからなかったが、これをシミュレータ上で実現できれば、今後の社会システムの設計や構築に大きく寄与する