



エネルギーの情報化への路

— あれから5年、1年 —

2010. 9. 24

京都大学大学院情報学研究科・教授
エネルギーの情報化WG・主査

松山隆司

研究ロードマップ

2010

エネルギーの情報化

2005

無形文化財のデジタルアーカイブ

Hybrid Dynamical Systemsに基づく
ヒューマンコミュニケーション

2000

3次元ビデオ

人間と共生する情報システム

1995

能動カメラを備えた
PCクラスタシステム

分散協調視覚

感性情報処理

1990

多角的情報の統合
Dempster Shaferの確率モデル

3次元コンピュータビジョン

画像理解ソフトウェア
画像理解用標準画像データベース

並列画像解析システム

多重画像の統合

代数的制約プログラミング
配色デザインシステム

幾何学的推論
幾何定理証明システム

1985

画像処理エキスパートシステム

幾何学的情報の表現と処理

1980

航空写真の画像理解

1975

デジタル画像処理

ザリガニの神経系の分析

素朴な疑問 1

1. 修士論文ではザリガニの神経系の研究
2. 大学教員として長年、画像認識・理解の研究
3. 最近はエネルギーの情報化の研究開発・社会展開



どう見ても一貫性がない
と思うのですが...

お答えします。

2010

エネルギーの情報化

2005

無形文化財のデジタルアーカイブ

Hybrid Dynamical Systemsに基づく
ヒューマンコミュニケーション

2000

3次元ビデオ

人と共生する情報システム

1995

能動カメラを備えた
PCクラスタシステム

感性情報処理

1990

多角的情報の統合
Dempster Shaferの確率モデル

3次元コ
ジョン

画像理解ソフトウェア
画像理解用標準画像データベース

1985

画像処理エキスパートシステム

並列画像解析システム

代数的制約プログラミング
配色デザインシステム

幾何学的推論
幾何定理証明システム

1980

航空機
理解

幾何学的情報の表現と処理

1975

データ
処理

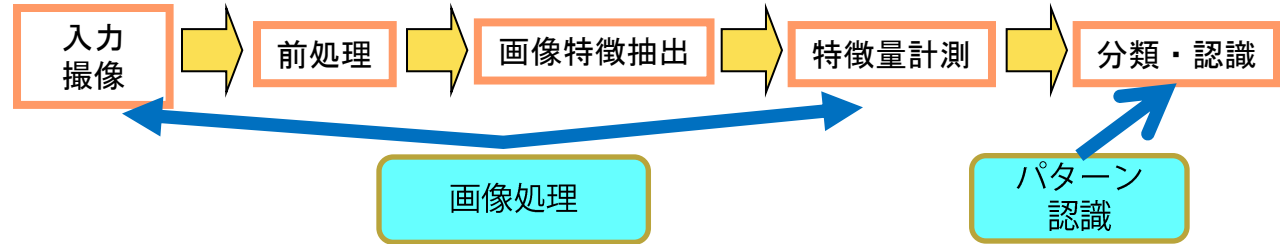
ザリカ
分析

総合情報科学

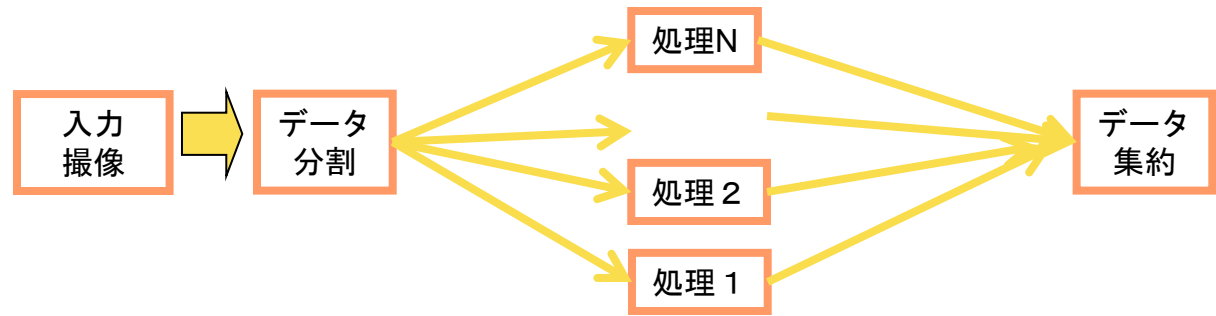


分散協調型処理とは

逐次型処理
途中段階での誤りが
最後まで影響する

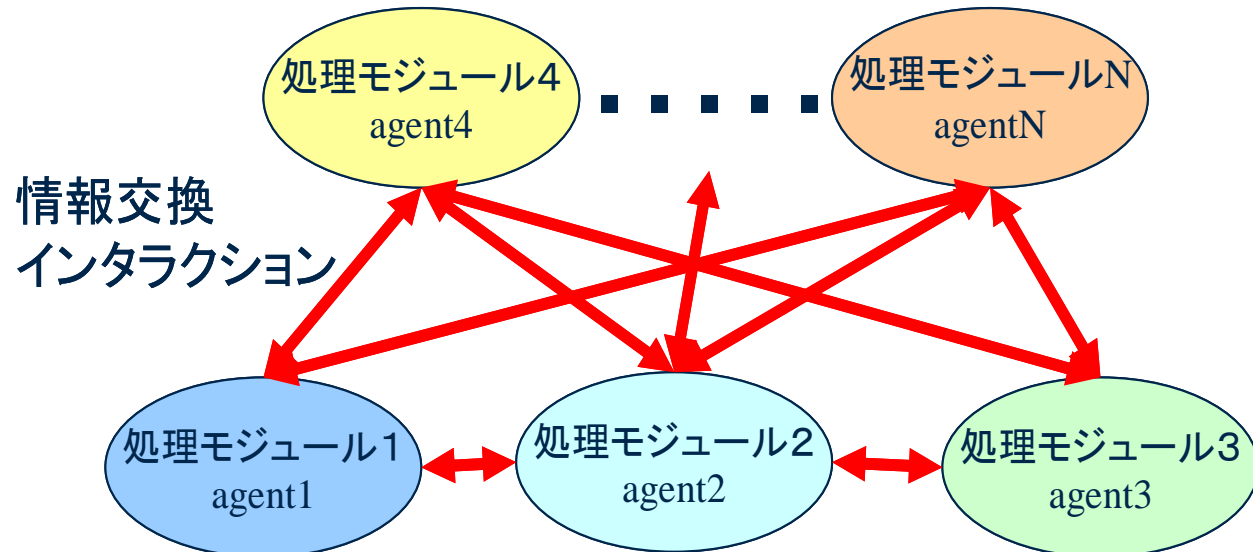


並列処理
処理速度の向上、
大規模データの処理



分散協調型処理
(Multi Agent System)
柔軟で多様、頑健な
処理が可能

M.MinskyMIT教授
知能のモデル



ザリガニの逃避行動における腹部屈曲システムの解析 (修士論文)



生物の神経系における動的分散協調メカニズムの解明

尾部の5つの神経節における抑制性神経の発火タイミングの分析

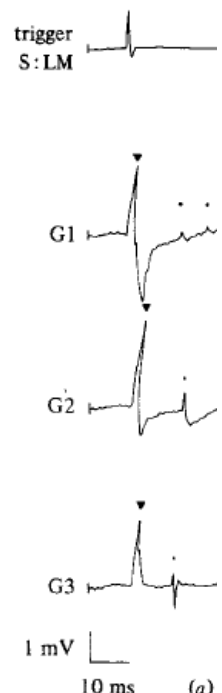
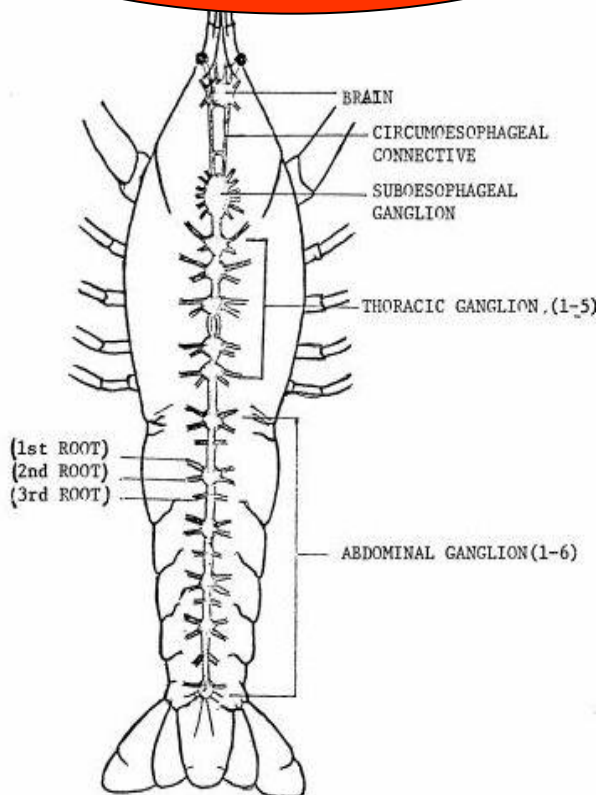


Fig. 2. Recordings from (b) ganglia 3-5 (G3-5) stimulating pulse. S: s

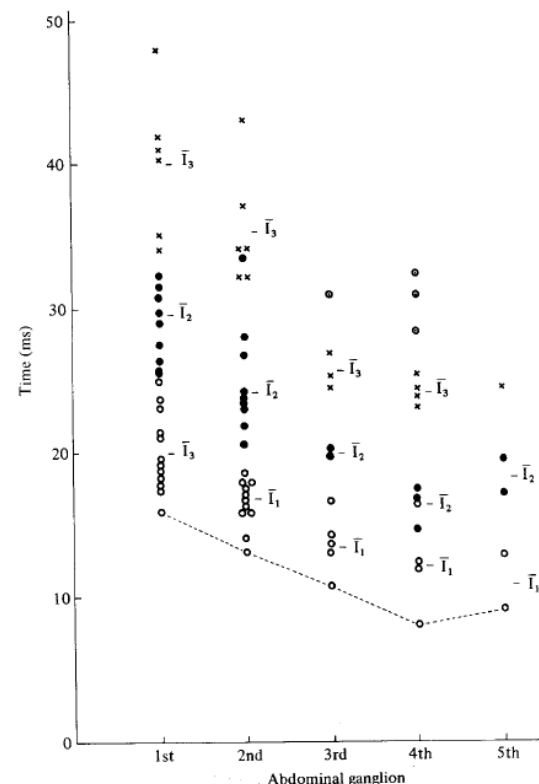


Fig. 4. Timing of FI impulses in ganglia 1-5. Each point represents the mean time after stimulation that was obtained with each arrangement of stimulating and recording electrodes for the first (○), second (●), third (×) and fourth (⊙) impulses. The records were obtained from five crayfish, from both sides where possible. The dashed line connects data from one crayfish. I_i indicates the mean timing of the i th impulse, where $i = 1-3$.

ザリガニの神経系

黒板モデルに基づく航空写真の構造解析

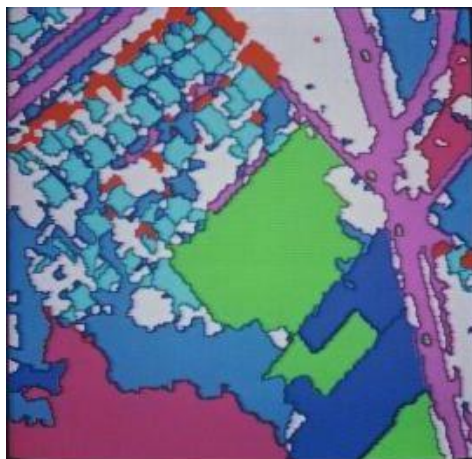


マルチスペクトル航空写真

領域分割



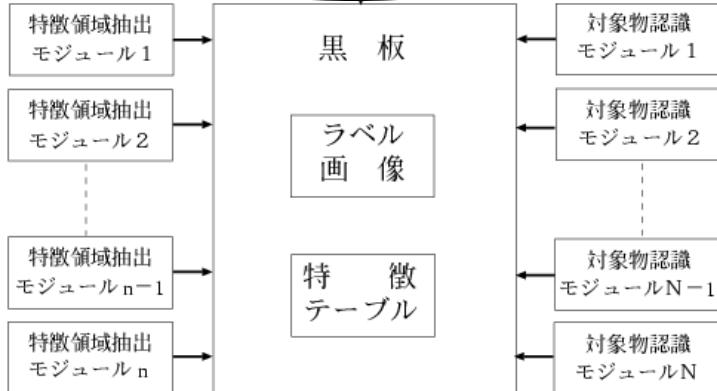
領域分割結果



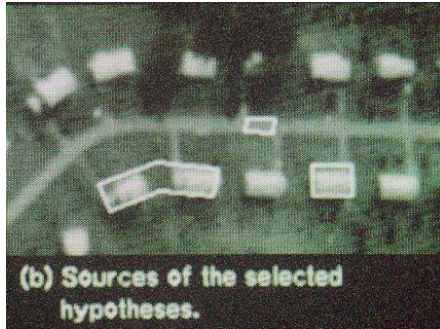
認識結果

原画像

共有メモリ型分散協調システム

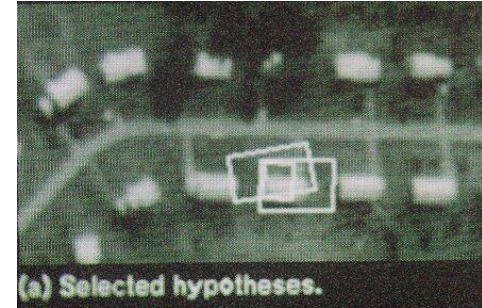


分散協調型空間的推論



最初に認識された家と道路セグメント各対象は、自律的に周囲の状況に対する空間推論を行う。

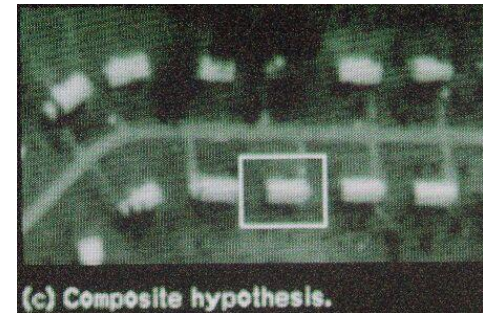
家は隣の家、道路は向き合う家に対する仮説を生成



家に対する仮説

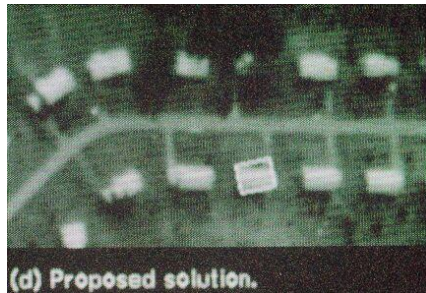
マルチエージェント型
分散協調システム

仮説の統合



統合された仮説

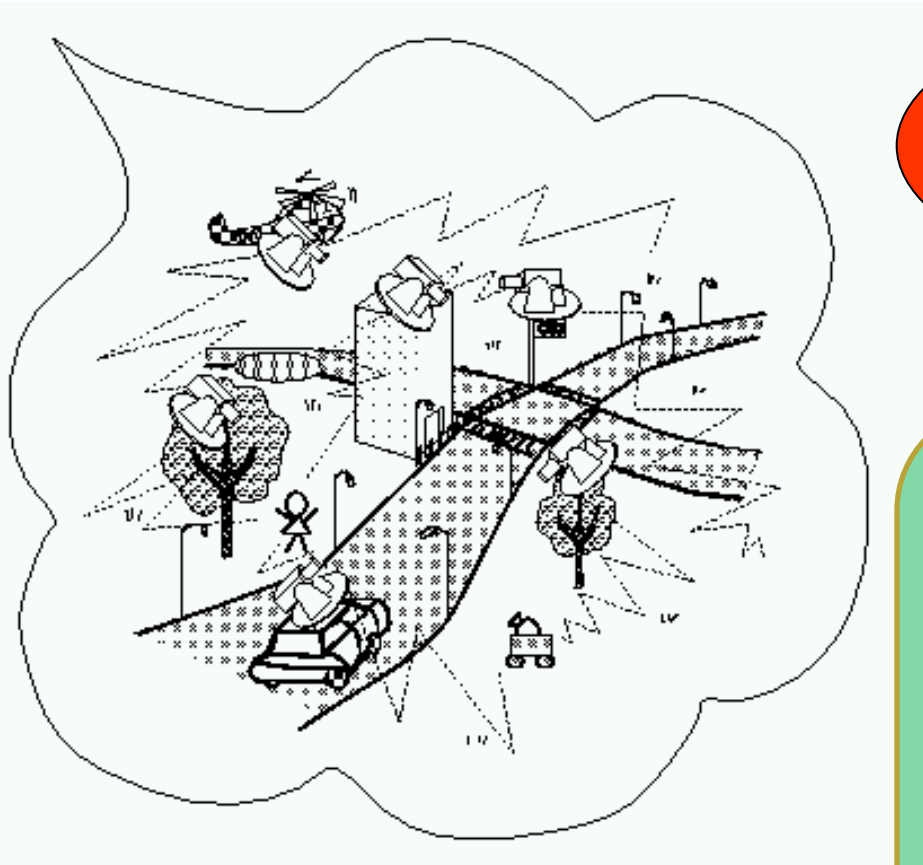
仮説が示す場所に焦点を当てて解析、未知対象を検出



新たに検出された家

分散協調視覚システム

— 首振りカメラ群による対象の自動追尾撮影 —



首振りカメラネットワーク

実世界・リアルタイムで機能する
マルチエージェント型
分散協調システム

- ### 応用システム
- ・ 実時間広域監視・交通管制システム
 - ・ 事故・災害状況の実時間把握
 - ・ 対話型遠隔会議・講義システム
 - ・ 伝統舞踊、スポーツの映像記録
 - ・ 3次元立体テレビ、自動撮影スタジオ

能動視覚エージェント群による 複数対象の協調追跡

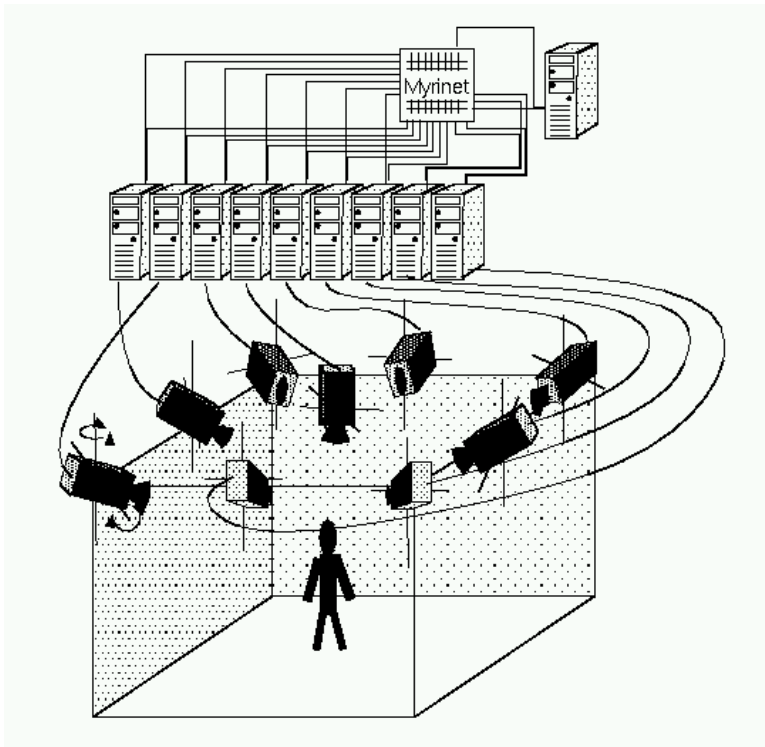


*Cooperative Tracking
by Communicating
Active Vision Agents*

3次元ビデオ

CGアニメーションやモーションキャプチャではなく、スポーツやダンスといった実世界での人間の動作をそのまま3次元的に記録した立体映像

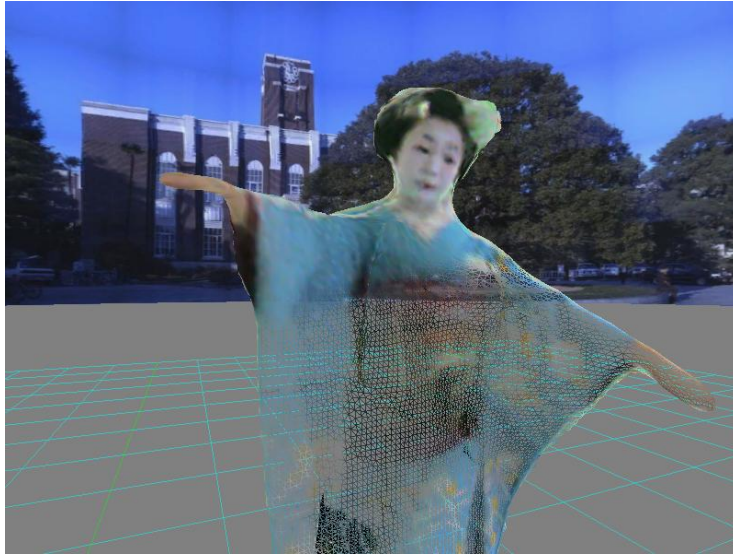
能動カメラ群を備えたPCクラスタシステムによる多視点ビデオ映像の撮影



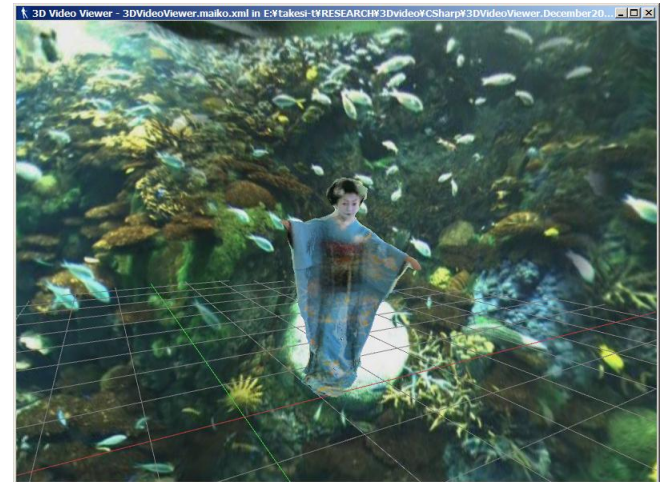
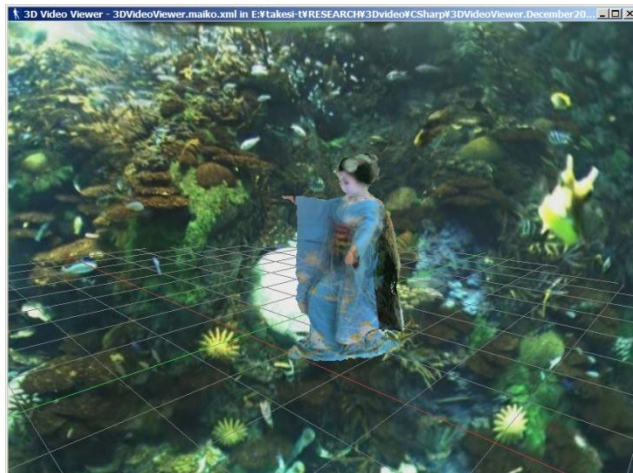
撮影された多視点ビデオ映像



生成された3次元ビデオ



立体表示
下半身はメッシュとして表示
背景は京大時計台の360° パノラマ画像

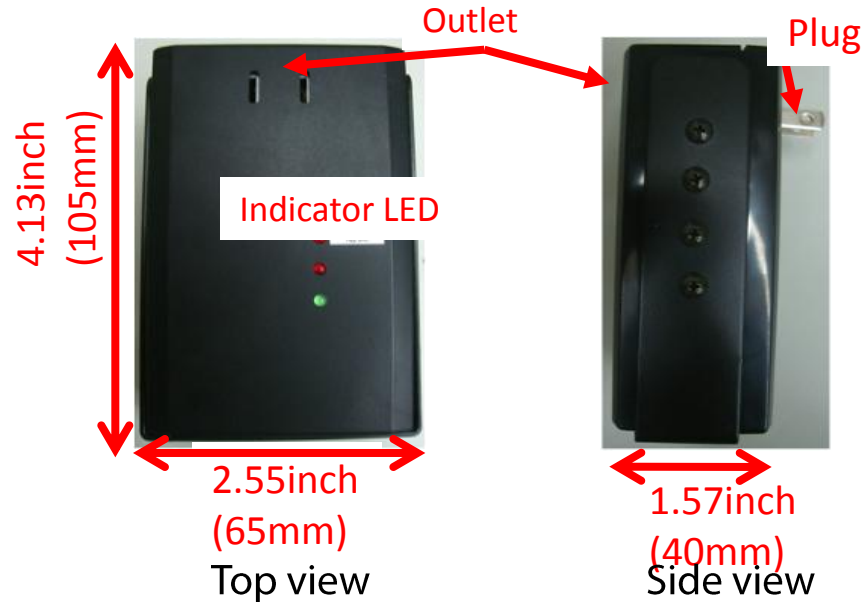
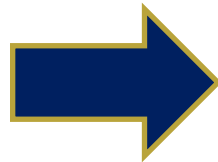


自由な視点移動
背景は大阪海遊館水槽の360° パノラマビデオ

エネルギーの情報化



実世界・リアルタイムで機能する
マルチエージェント型
分散協調システム



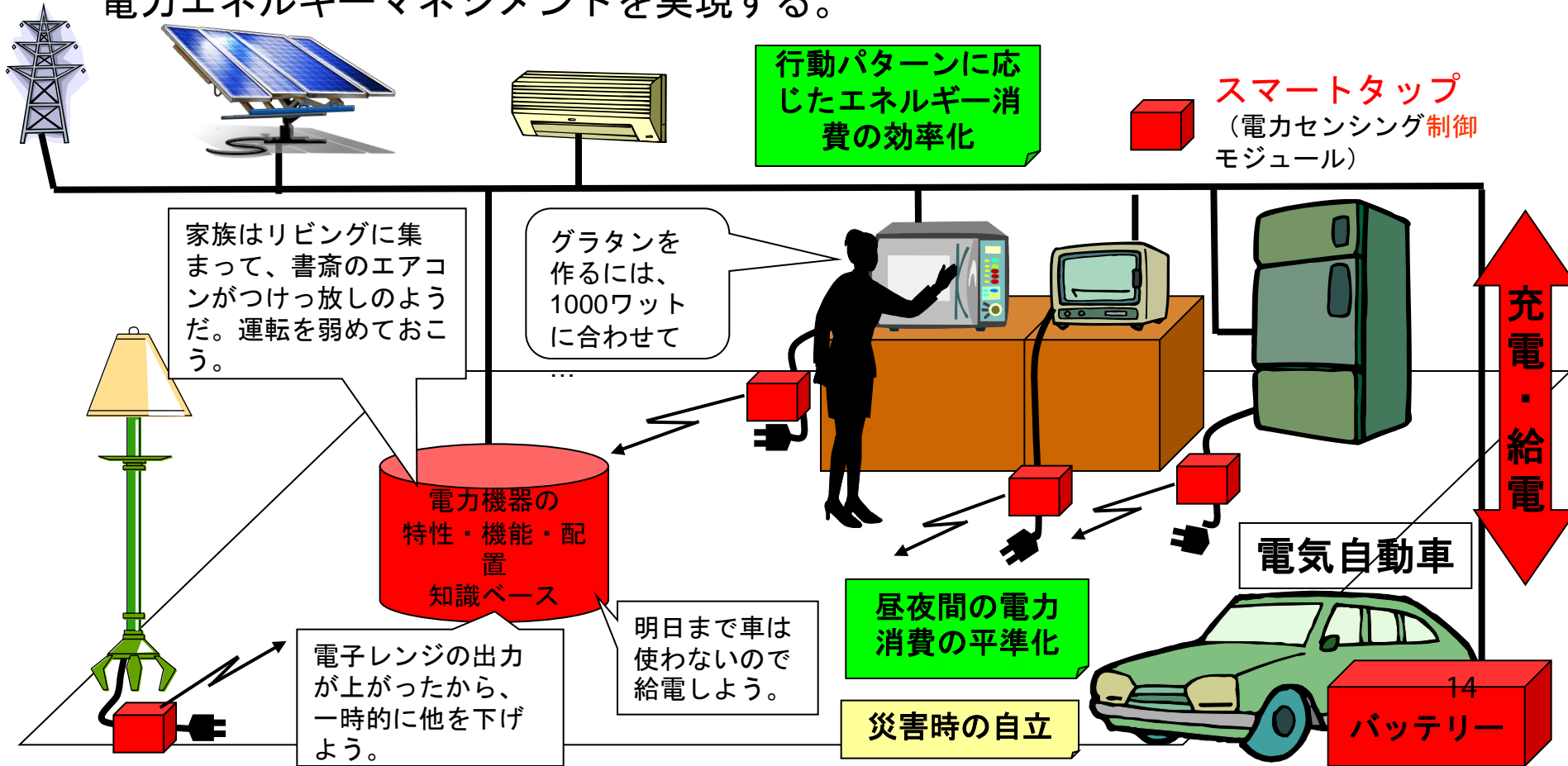
首振りカメラ
視覚センサ+コントローラ
有線ネットワーク

スマートタップ
電力センサ+コントローラ
無線ネットワーク

エネルギーの情報化

あらゆる電気機器に、電力センサ、電力コントローラ、通信装置からなる**スマート・タップ**を取り付け、各機器の電力使用状況をリアルタイムに計測・分析し、生活者の行動パターンのモニタリングや省エネ生活のコンサルティング、機器の不良検出などを行う。

電力カラーリングに基づいた**オンデマンド型電力ネットワーク**による高度電力エネルギーマネジメントを実現する。



素朴な疑問 2

- 2007. 12 米国ブッシュ大統領が「エネルギー自給・安全保障法」に署名
- 2008. 9 リーマンショック
- 2009. 2 米国オバマ大統領により「米国再生再投資法」を成立させ、グリーン・ニューディール政策を推進



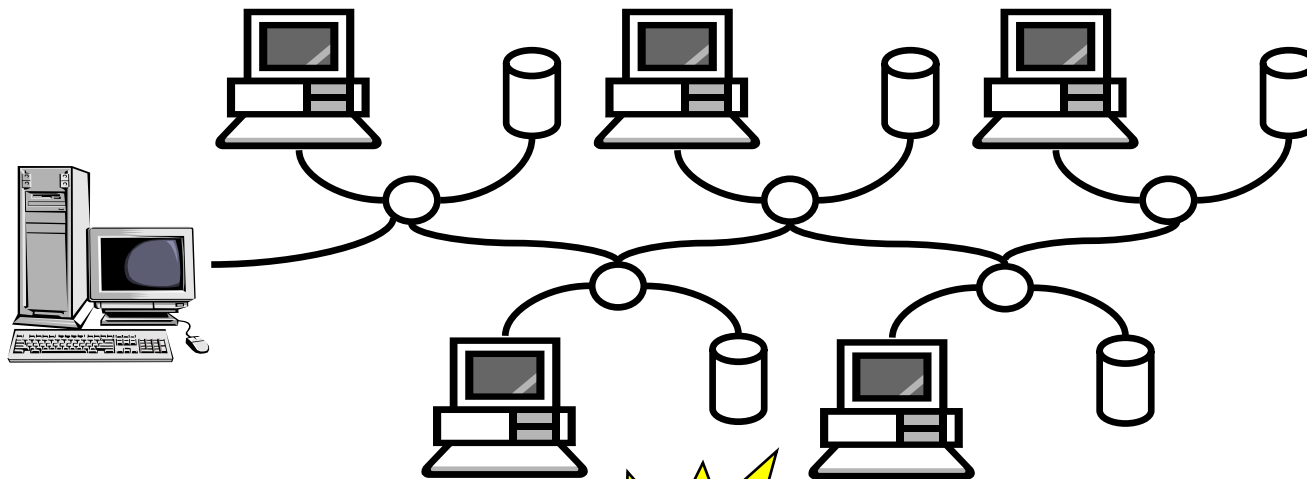
スマートグリッドのブームに乗ってエネルギーの情報化を提唱したのでは？

お答えします。

2004. 1. 30 JST 科学技術未来戦略ワークショップ@白浜にて
「情報・エネルギー統合ネットワーク」
の重要性を指摘

(II-2) 情報・エネルギー統合ネットワーク

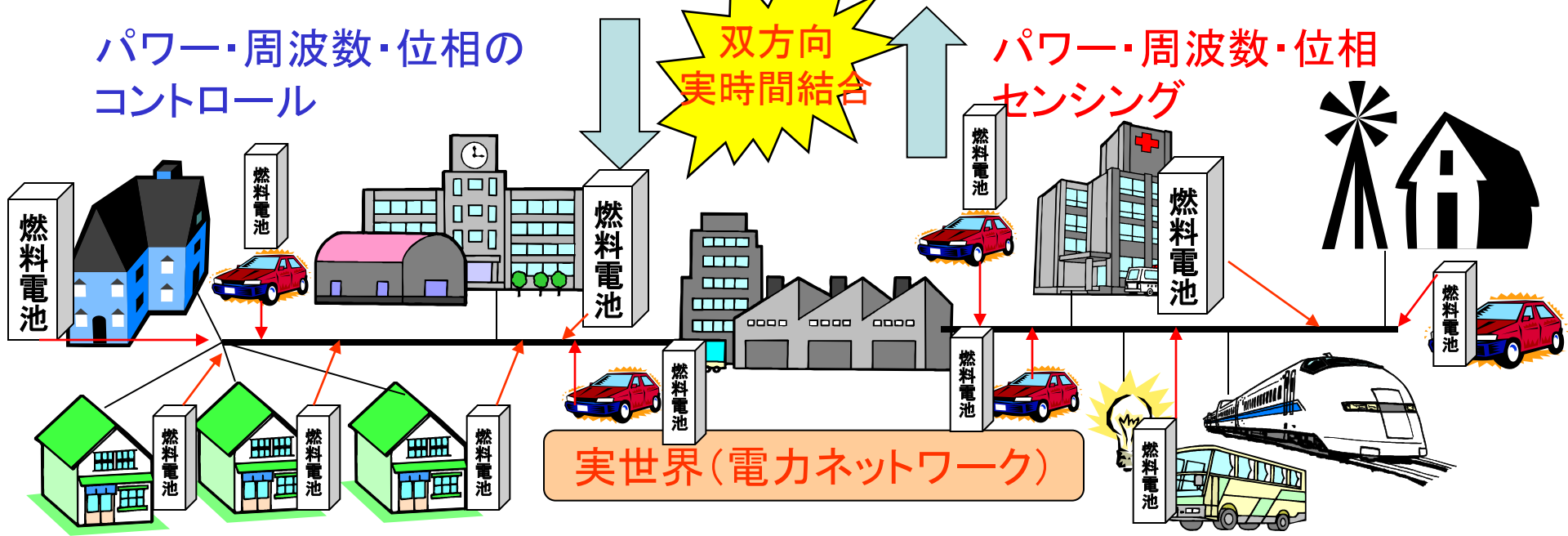
情報ネットワーク社会



パワー・周波数・位相の
コントロール

双方向
実時間結合

パワー・周波数・位相
センシング



お答えします。

2004. 1. 30 JST科学技術未来戦略ワークショップ@白浜にて
「情報・エネルギー統合ネットワーク」
の重要性を指摘
- 2004
2004~2005 パワーネット研究会（引原京大教授、三菱電機ほか）
各種講演会にて
「情報・エネルギー統合ネットワーク」
の重要性を指摘
2006. 8. 1 日本学会議情報学委員会にて
「情報通信ネットワークと電力ネットワークの統合」
について講演
2006. 4~2008. 3 NICT知識創成コミュニケーションセンター長
として、エネルギーの情報化の研究開発を実施
2007. 9~2008. 3 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」技術開発WG主査
2008. NICT委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の
研究開発」概算要求
- 2009 NICT委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の
研究開発」開始
2009. 5 エネルギーの情報化WG創設
2010. 2. 26 経済産業省「次世代エネルギー・社会システム実証地
域」へけいはんな学園都市を提案
2010. 4. 8 経済産業省「次世代エネルギー・社会システム実証地
域」にけいはんな学園都市が採択

エネルギーの情報化WGの活動歴



09.04.20 エネルギーの情報化WG 設置準備会

09.05.26 エネルギーの情報化WG 発足

09.07.02 ホームページ・メーリングリスト開設

09.07.29 第1回WG：シンポジウム

京都大学 吉田キャンパス 百周年時計台記念館2階国際交流ホールⅠ
(13:30-16:30) 参加者：217名

09.10.26 第2回WG：会合

京都大学 吉田キャンパス 百周年時計台記念館2階国際交流ホールⅡ
(14:00-17:30) 参加者：会員+随伴者 57名

10.01.07 第1回スマートタックタスクフォース

京都大学 吉田キャンパス 電気系総合館 3F 中会議室 (14:00-16:00) 参加者：16名

10.01.21 第3回WG：会合

京大会館 102会議室 (13:15-16:00) 会員+随伴者：45名

10.02.12 第2回スマートタックタスクフォース

京都大学 吉田キャンパス 電気系総合館 3F 中会議室
(14:00-16:00) 参加者：8名

10.03.29-30 国際ワークショップ IWSEM 2010開催

京都大学 桂キャンパス Bクラスター 桂ホール参加者：98名

10.05.19 第1回WG：会合

京都大学 吉田キャンパス 百周年時計台記念館2階国際交流ホールⅡ
(14:00-17:00) 参加者：会員+随伴者 127名

10.09.24 第2回WG：シンポジウム

ホテル日航プリンセス京都



スマートタップを用いた エネルギーの情報化

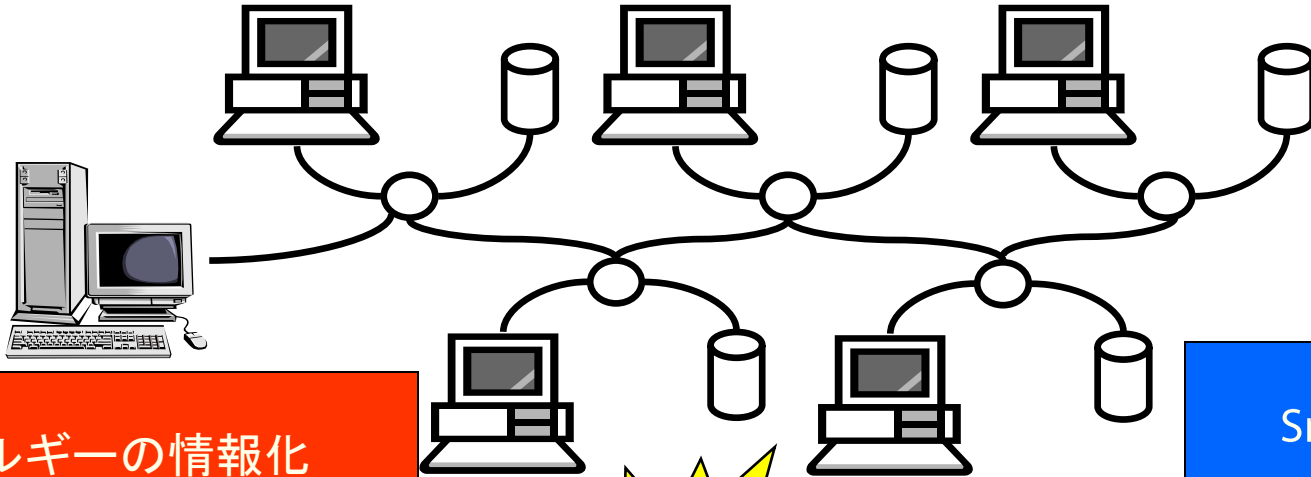
スマートグリッド



情報通信ネットワークを使った電力ネットワークの高度化

情報ネットワーク社会

- ・分散化
- ・双方向化
- ・個人化



エネルギーの情報化

Smart Grid

周波数・位相
のコントロール

双方向
実時間結合

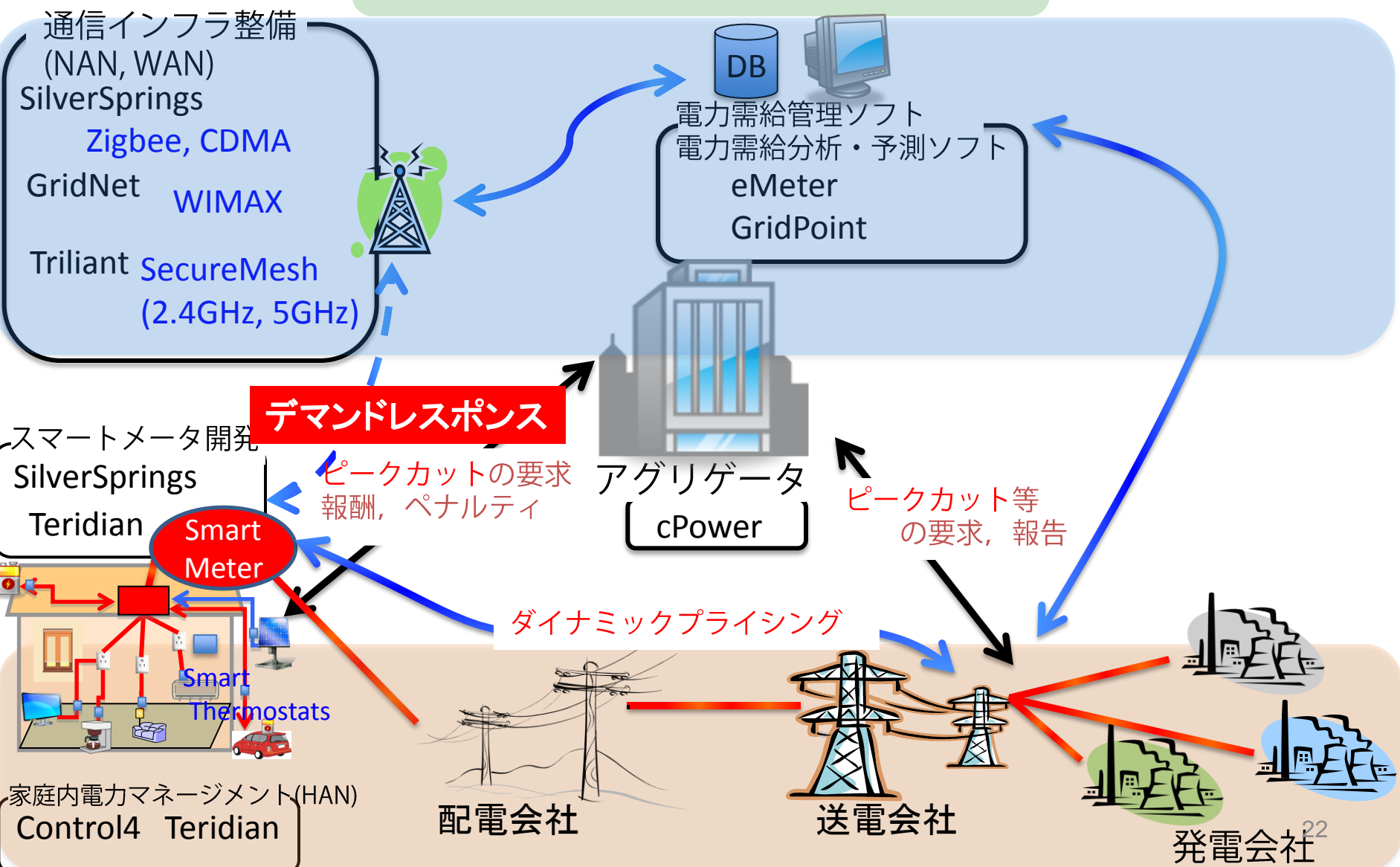
パワー・周波数・位相
センシング



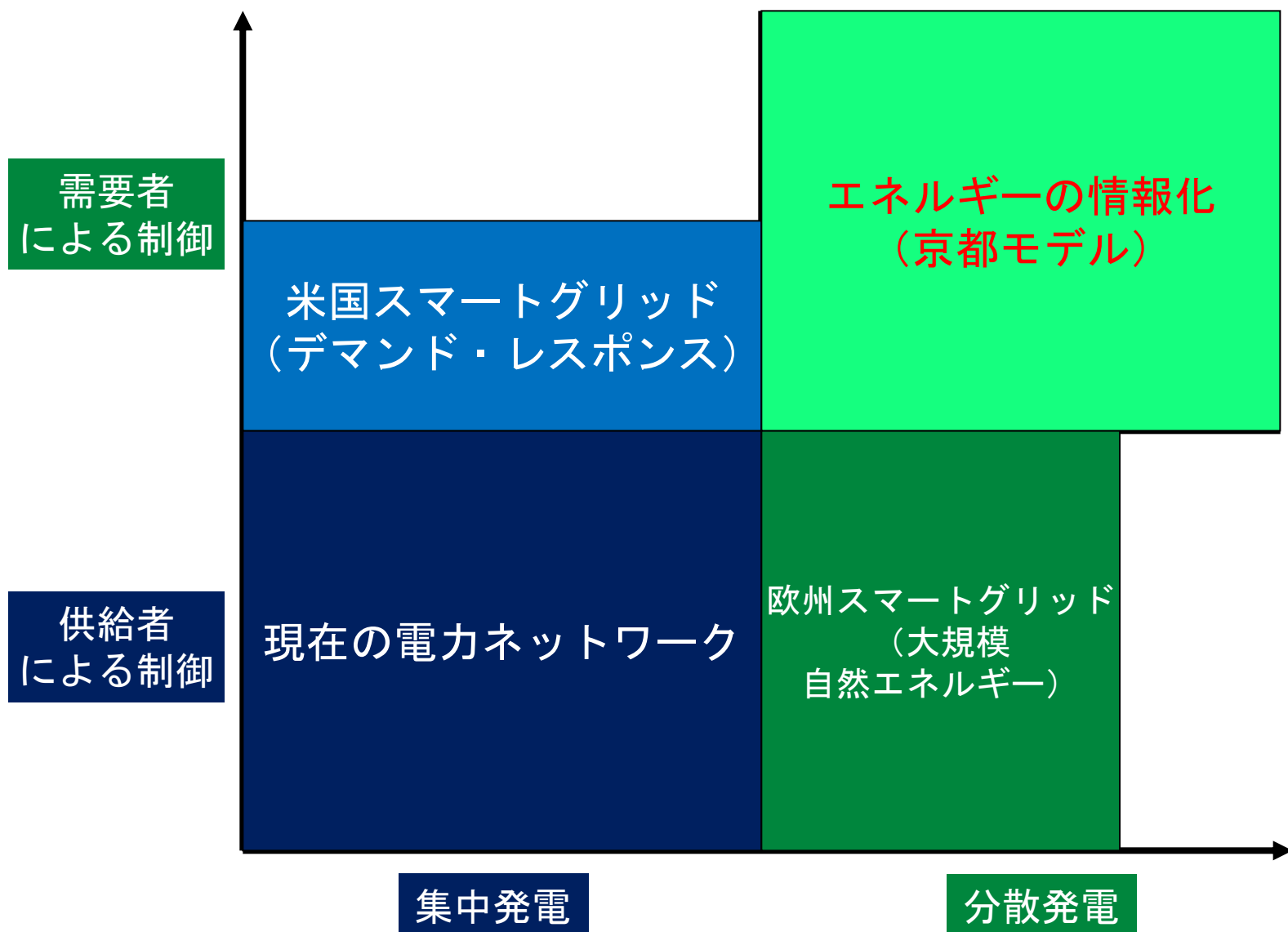
実世界（電力ネットワーク）

米国のスマートグリッド事情(2010.3)

政府機関とその他の組織
DOE(連邦エネルギー省)
DRSG(スマートグリッド連合)



スマートグリッドには色々なアプローチがある



世界の国別人口 (総務省統計局データより)

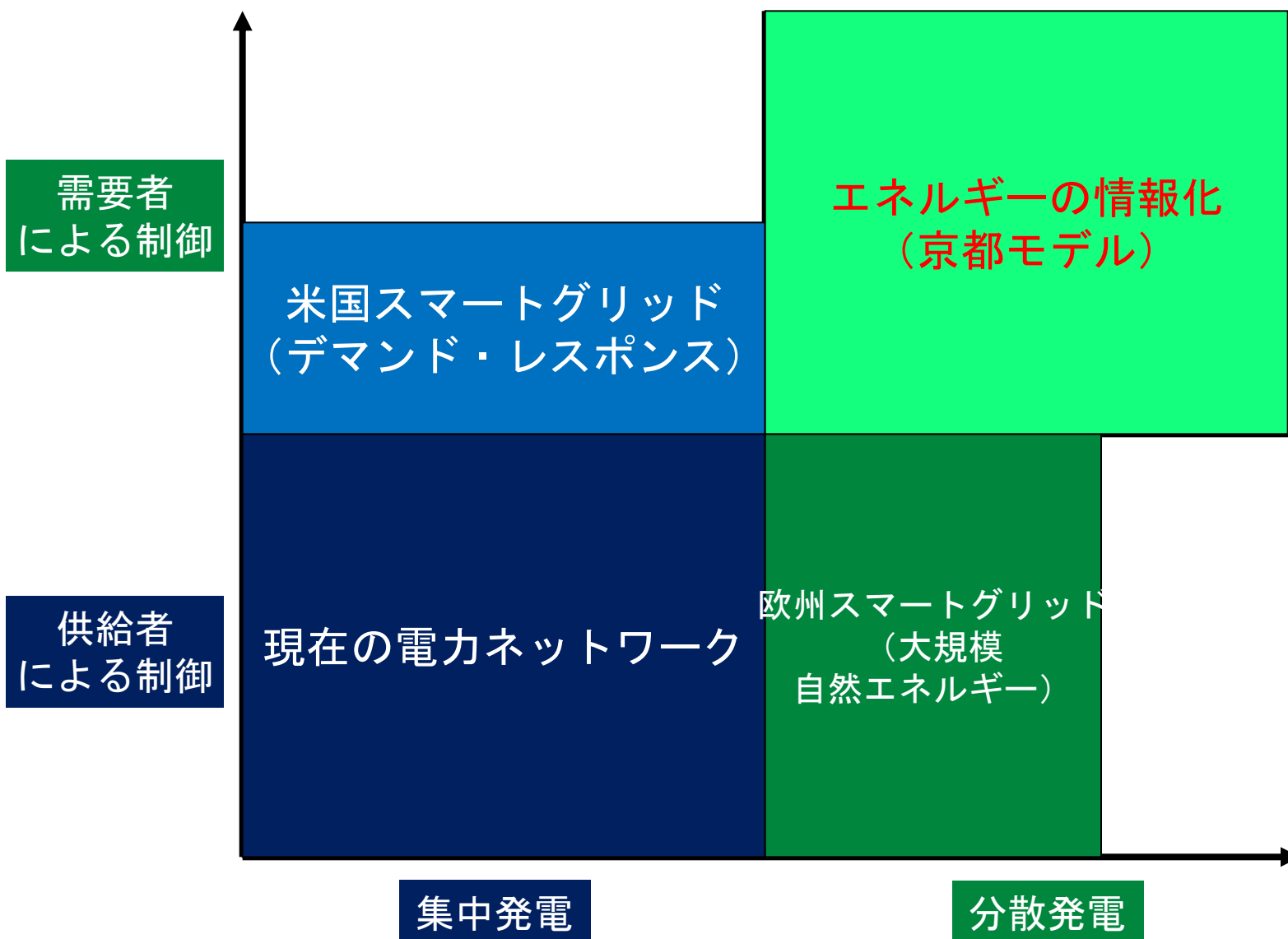


2009年				
順位	国(地域)	総数	男	女
	世界	6,829	3,443	3,387
	20位までの合計	(71.3%)	(71.8%)	(70.8%)
1	中国	1,346	698	647
2	インド	1,198	619	579
3	アメリカ合衆国	315	155	159
4	インドネシア	230	115	115
5	ブラジル	194	95	98
6	パキスタン	181	93	88
7	バングラデシュ	162	82	80
8	ナイジェリア	155	78	77
9	ロシア	141	65	76
10	日本	127	62	65
11	メキシコ	110	54	56
12	フィリピン	92	46	46
13	ベトナム	88	43	45
14	エジプト	83	42	41
15	エチオピア	83	41	42
16	ドイツ	82	40	42
17	トルコ	75	38	37
18	イラン	74	38	36
19	タイ	68	33	34
20	コンゴ民主共和国	66	33	33

2025年				
順位	国(地域)	総数	男	女
	世界	8,012	4,036	3,975
	20位までの合計	(70.1%)	(70.5%)	(69.7%)
1	中国	1,453	753	700
2	インド	1,431	735	696
3	アメリカ合衆国	359	178	180
4	インドネシア	263	131	132
5	パキスタン	246	127	120
6	ブラジル	214	105	109
7	ナイジェリア	210	106	104
8	バングラデシュ	195	98	97
9	ロシア	132	61	72
10	メキシコ	123	61	63
11	日本	121	58	62
12	エチオピア	120	60	60
13	フィリピン	117	59	58
14	エジプト	105	53	52
15	ベトナム	102	51	51
16	コンゴ民主共和国	98	49	49
17	トルコ	87	44	44
18	イラン	87	44	43
19	ドイツ	79	39	40
20	タイ	73	36	37

2050年				
順位	国(地域)	総数	男	女
	世界	9,150	4,591	4,559
	20位までの合計	(68.2%)	(68.5%)	(67.9%)
1	インド	1,614	821	793
2	中国	1,417	730	687
3	アメリカ合衆国	404	202	202
4	パキスタン	335	171	164
5	ナイジェリア	289	146	144
6	インドネシア	288	142	146
7	バングラデシュ	222	111	111
8	ブラジル	219	106	113
9	エチオピア	174	87	87
10	コンゴ民主共和国	148	73	74
11	フィリピン	146	74	73
12	エジプト	130	64	65
13	メキシコ	129	63	66
14	ロシア	116	54	62
15	ベトナム	112	56	56
16	タンザニア	109	55	54
17	日本	102	49	53
18	トルコ	97	48	49
19	イラン	97	48	49
20	ウガンダ	91	45	46

世界中のすべての国、地域で成り立つのが京都モデル



「エネルギーの情報化」の実現ステップ



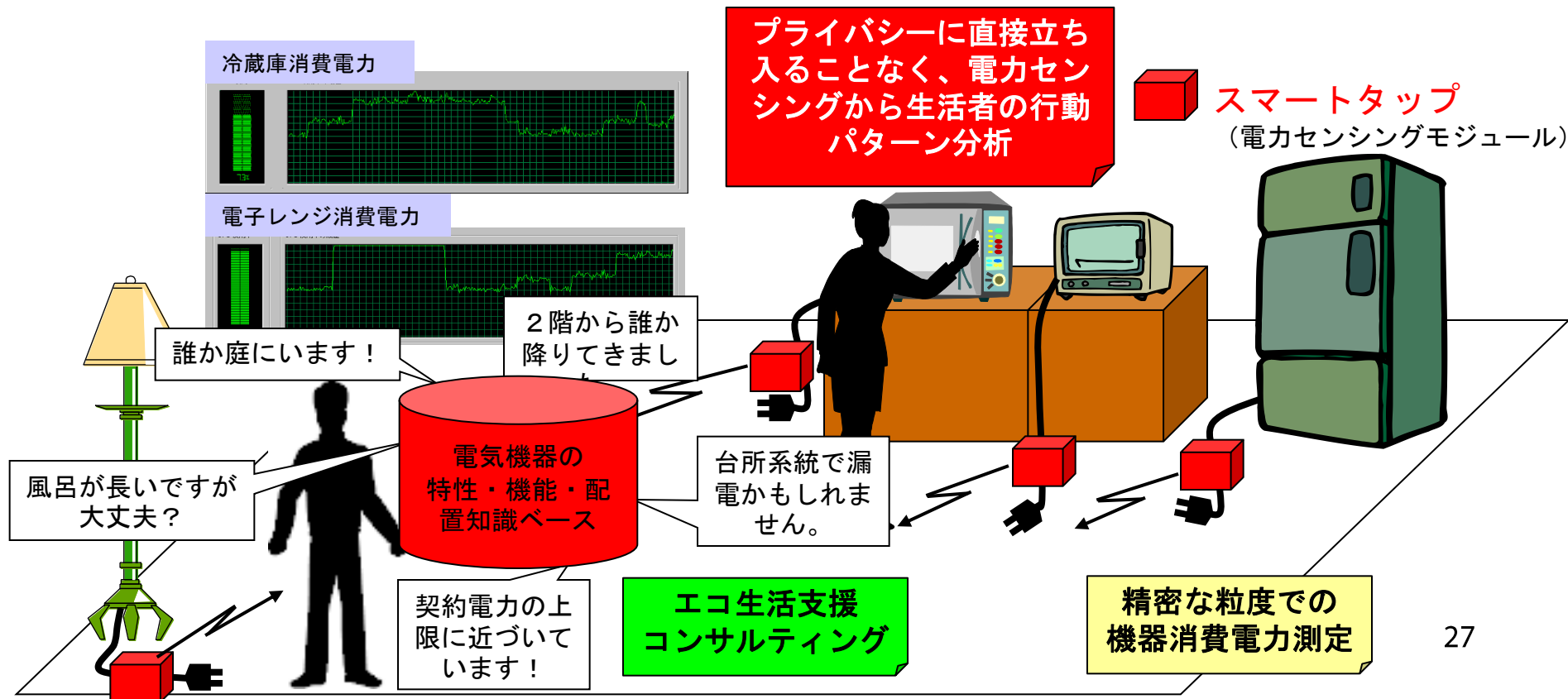
1. 電力センサ（スマートタップ）ネットワークによる
 - ・エネルギー消費の見える化
 - ・人間行動の学習・見守り
2. オンデマンド型電力ネットワークによる
高度電力マネージメント
3. 家庭内ナノグリッドによる
電力カラーリング（由来別制御）
4. 地域ナノグリッドによる
エネルギー売買市場の創成

1. 電力センサ（スマートタップ）ネットワークによるエネルギー消費の見える化と人間行動の学習・見守り

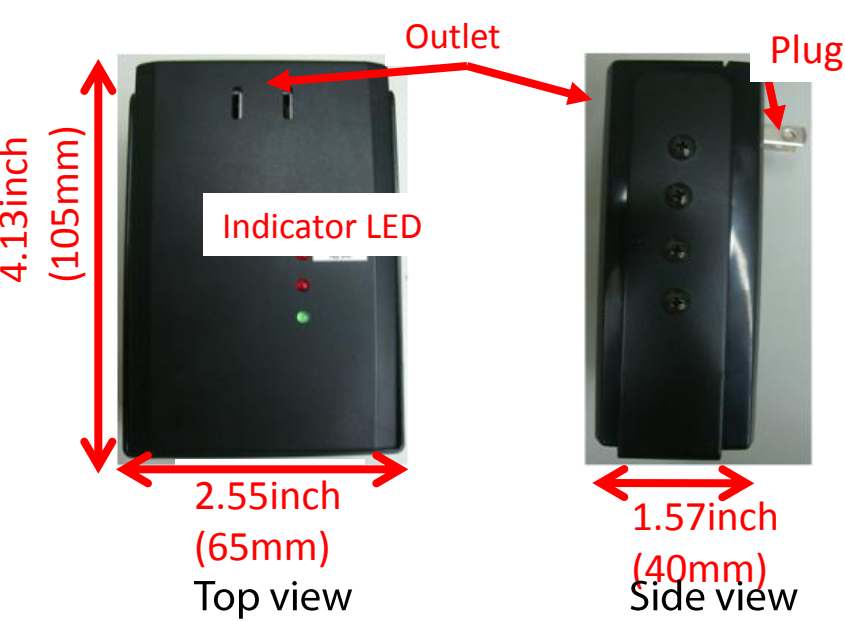
【フェーズ1】

2010年4月マンションルーム、2011年一戸建て住宅で実証実験

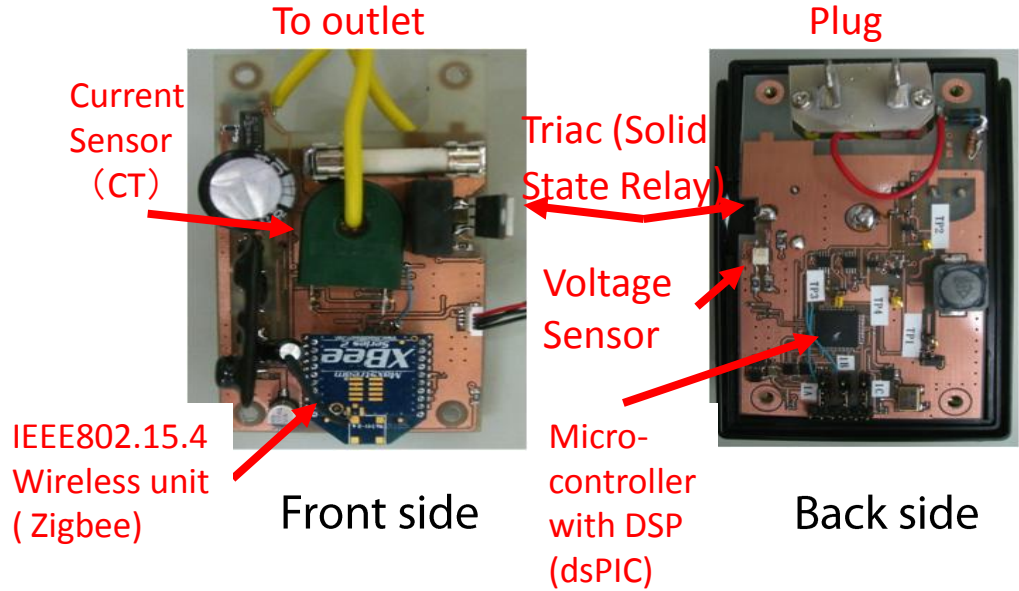
あらゆる電気機器に、電力センサと通信装置からなるスマート・タップを取り付け、各機器の電力使用状況をリアルタイムに計測・分析し、生活者の行動パターンのモニタリングや省エネ生活のコンサルティング、機器の不良検出などを行う。



(1) スマートタップを使った、家電の詳細な電流・電圧特性や消費電力のリアルタイム計測と表示

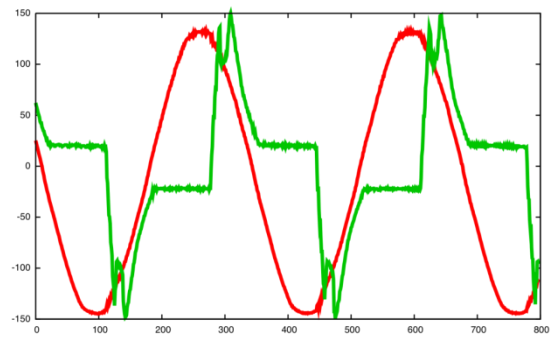


外観

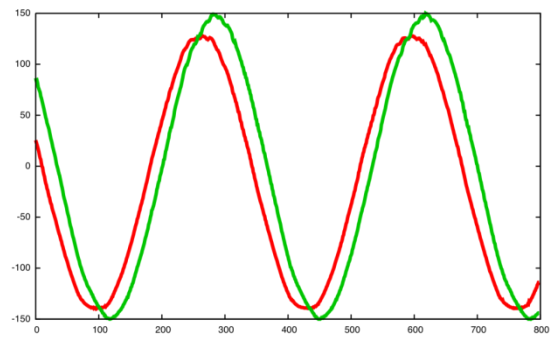


内部構造

京都大学版スマートタップ



掃除機の電圧・電流波形



ヘアドライヤの電圧・電流波形

	タイプ	計測データ	通信	制御	その他機能
京大松山研	プラグアダプタ型	電力計測 家電認識	無線 (ZigBee)	電力量制御 (半導体リレー)	家電識別、リモート制御
神戸大塚本研	プラグアダプタ型	電力計測	有線LAN 無線(Wifi)	オン・オフ制御 (機械式リレー)	家電認識、制御ルール センサ連携
NTT Docomo	プラグアダプタ型	電力計測	無線 (Wifi)	なし	
NECシステムテクノロジー	テーブルタップ型 プラグアダプタ型	電力計測 温度、湿度 家電認識	無線LAN	オン・オフ制御 リモコン制御	センサノードと連携、家電識別、 制御ルール
鹿島エレクトロ産業	プラグアダプタ型	電力計測 温度	無線	?	温度計測ユニットと連携
富士通	テーブルタップ型	電力計測	USB	なし	USB給電
エネゲート	プラグアダプタ型	電力計測 (交流・直流)	特定小電力無線	オンオフ制御(機械 式リレー)	交流用、直流用を開発
オムロン	プラグアダプタ型 分電盤型	電力計測	無線 (ZigBee) 電力線 (PLC)	オンオフ制御 リモコン制御 (JEM A)	インホームディスプレイ センターサーバ連携
ローム	プラグアダプタ型	電力計測	無線 (2.4GHz)	オンオフ制御 電力量制御 (半導体リレー)	
住友電工	テーブルタップ型	電力計測	無線 (Z-Wave) 電力線 (PLC)	オンオフ制御	
Control4(米)	プラグアダプタ型	電力計測	無線 (Zigbee, Wifi)	オンオフ制御	スマートサーモスタッド
Teridian(米)	プラグアダプタ型	電力計測	無線 (Wifi)、 有線(USB)		
アラートミー(英)	プラグアダプタ型	電力計測	無線 (Zigbee)	オンオフ制御	グーグルパワーメータ連携 \$49

スマートマンションルーム実証実験



参加者：京都大学松山研究室、株式会社エネゲート、オムロン株式会社、住友電気工業株式会社、大和ハウス工業株式会社、ローム株式会社、NICT委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の研究開発」プロジェクト

実証実験概要

・「けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証」の**先導的実証実験**としてマンションルームにおけるスマートタップを使ったエネルギーマネジメントの生活実証実験を行う。

実証実験の目的

- ・各社のスマートタップの相互接続検証
- ・消費電力見える化の効果の検証
- ・電力消費パターンの学習・解析

使用家電

30種類（テレビ、ゲーム機、エアコン、電子レンジ、冷蔵庫、掃除機、洗濯機、備え付け照明など）

スマートタップ50台

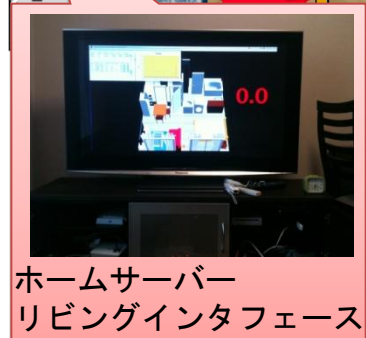
- ・分電盤用（主幹1+6系統）
- ・テーブルタップ型3台
- ・コンセント型40台

ホームサーバ・リビングインタフェース

- ・すべての家電の電力消費を計測
- ・実際の生活空間で検証

実験ルーム ジニアス室町（四条烏丸）

1LDK（33.21㎡）人暮らし～2人（夫婦）



(2) 異なったメーカーが開発したスマートタップを統合する ホームサーバシステム



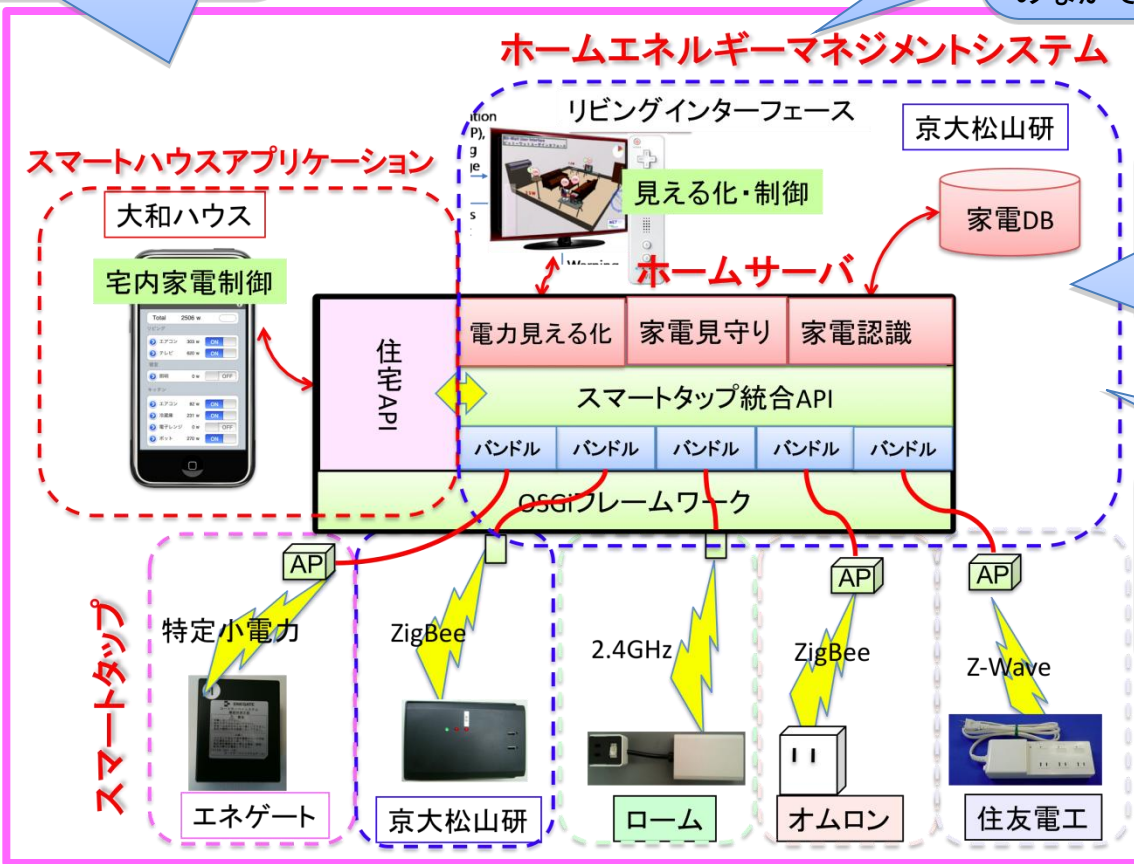
サービス連携

異なるメーカーの家電製品・設備機器を共通でコントロールすることができる「*住宅API」との連携
*「スマートハウス実証プロジェクト」にて開発

ホームサーバ

ホームサーバのモジュール化により、サードパーティアプリケーションの追加、各メーカーのスマートタップ間の相互連携が可能

(4) リビングインターフェースによる家電見える化・制御
日常的に使用するテレビとゲーム機の直感的なインターフェースにより、生活のなかでの消費電力の確認と家電制御



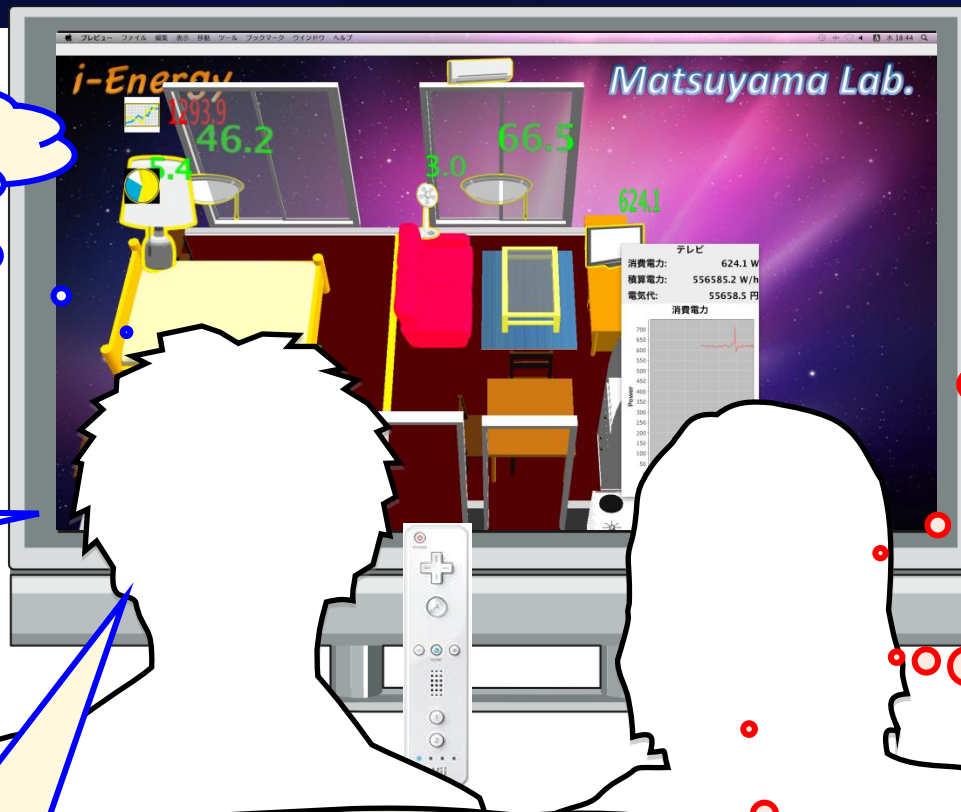
(3) 家電自動認識
スマートタップの電力解析により、使用家電、使用場所を自動認識、使用家電の設定不要

(5) 家電見守り
家電ごとの使用パターンの監視により、無駄な電力の家電や異常動作家電を発見し、ユーザに報告

スマートタップ相互接続

ホームサーバにバンドル（モジュール）をロードすることで異なる通信方式、異なる仕様の各社スマートタップを相互接続・連携

(3) 消費電力の見える化による省エネ支援システム



あ、トイレの電気消し忘れてる

TVで使用状態が一目でわかる

トイレの電気を消すね

ゲームのように家電を自由に操作

玄関の電球はよく使ってるからLEDに変えたほうがいいみたいだね

その家庭の生活パターンから省エネ行動、家電の買い替えの提案

今月は電気代使いすぎ

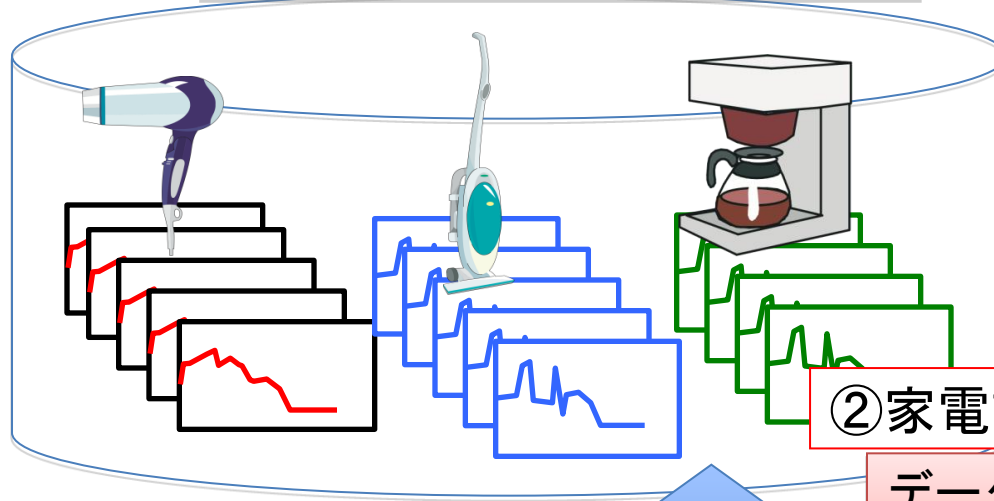
エアコン使いすぎだな

どんな家電がどのくらい電気を消費するのか、エコ度はどの程度かがすぐに分かる

設定温度をもう少しあげよう

(4) スマートタップによる家電の自動認識

家電電力パターンデータベース

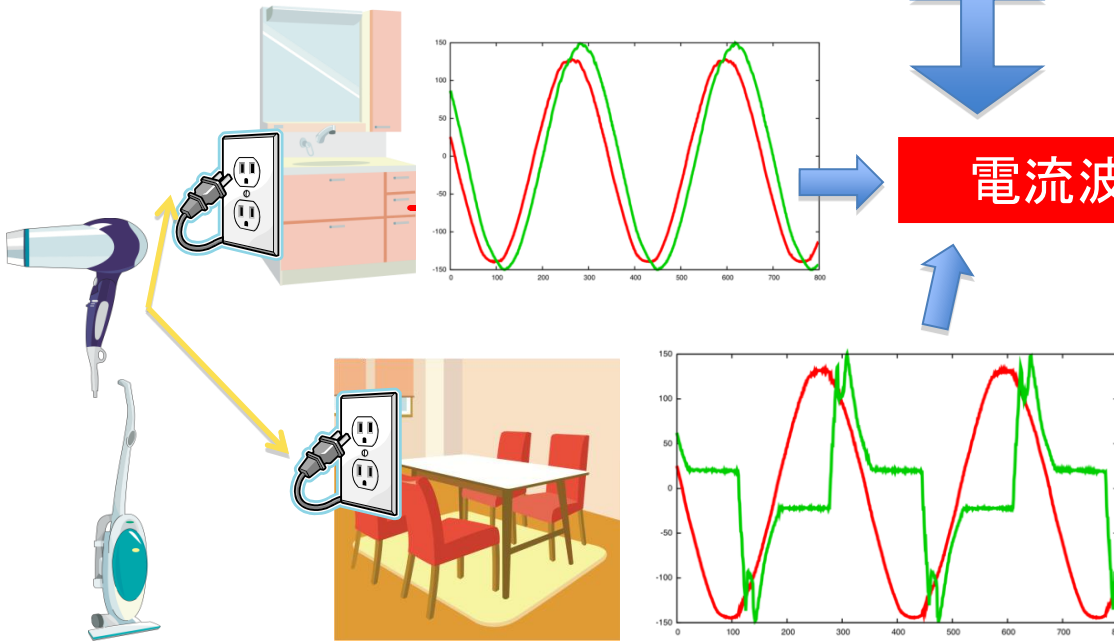


②家電認識

データベースに登録してある電流波形特量と比較し、認識

電流波形特徴の抽出

スマートタップで電流波形の特徴を抽出



(4) スマートタップによる家電の自動認識結果

学習データ：100サンプル×25種類（16種類）

テストデータ：450サンプル×25種類（16種類）

	従来法 (5次元)	提案手法 (4次元)	計測データ (100次元)
16種類	85.5%	99.9%	99.9%
25種類	78.0%	95.8%	95.6%

従来手法：下記の5特徴を使って認識

平均電流、平均電流/ピーク電流、電流電圧のピーク時間差、通電時間、電流立ち上がりからピークまでの時間

未登録家電を含めた場合：（登録済みか未登録かを識別）

未登録家電の検出率97.7%

(5) 家電の安全見守り・異常発見

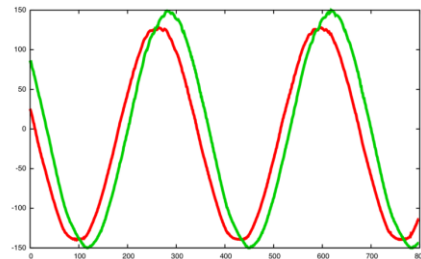
- 家電の正常な電力パターンをデータベースに記録
- 正常パターンから外れた状態を異常として検出
 - 配線、コンセントの異常（断線、トラッキング）
 - 家電の異常（故障、トラブル）

デモ：扇風機の異常停止の検出

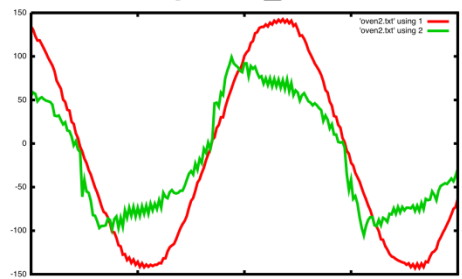


異常をユーザーに知らせる

電流波形特徴の抽出



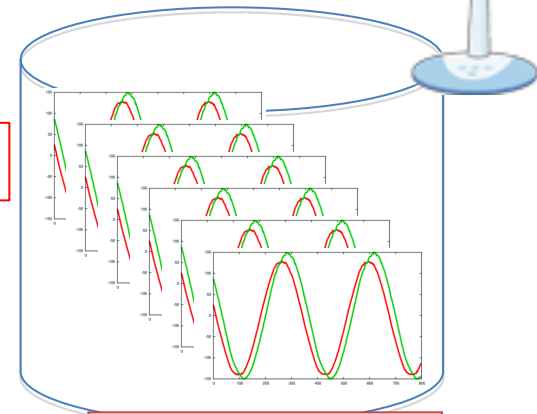
正常時の電力波形



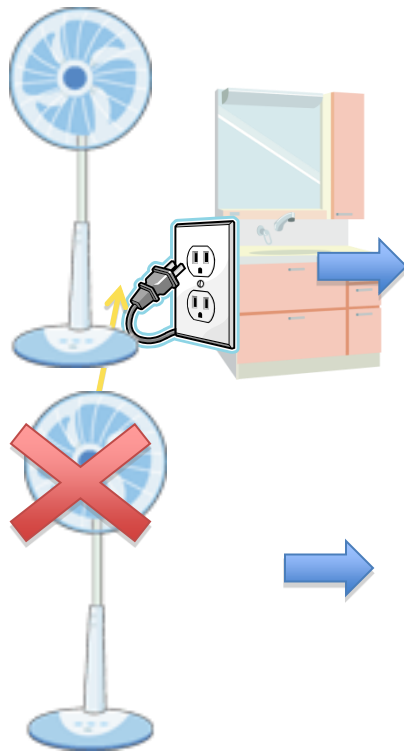
異常時の電力波形

電力波形 と比較

マッチしない



正常時の波形のデータベース

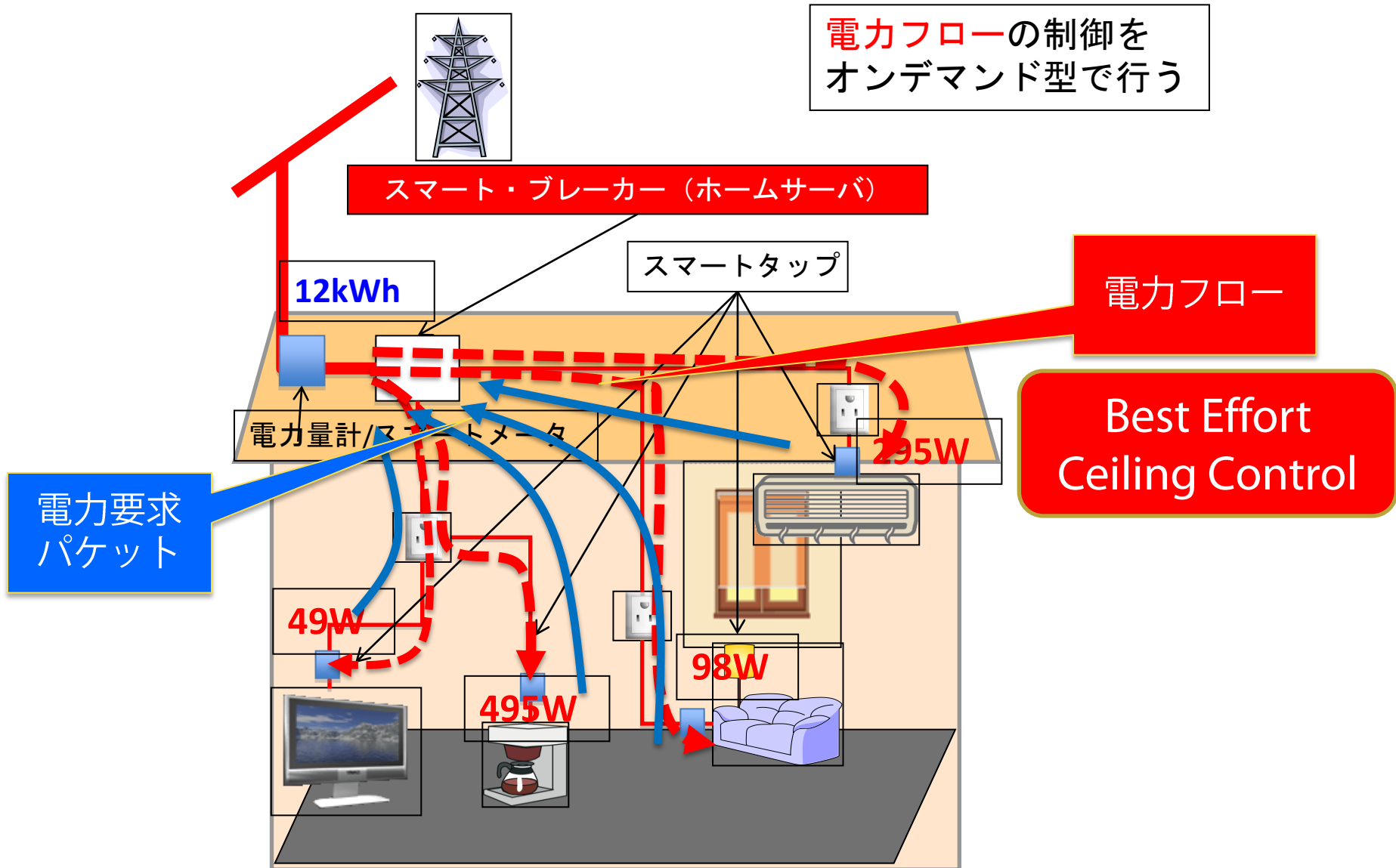


「エネルギーの情報化」の実現ステップ



1. 電力センサ（スマートタツプ）ネットワークによる
 - ・エネルギー消費の見える化
 - ・人間行動の学習・見守り
2. オンデマンド型電力ネットワークによる高度電力マネージメント
3. 家庭内ナノグリッドによる電力カラーリング（由来別制御）
4. 地域ナノグリッドによるエネルギー売買市場の創成

2. オンデマンド型電力ネットワークによる 高度電力マネージメント



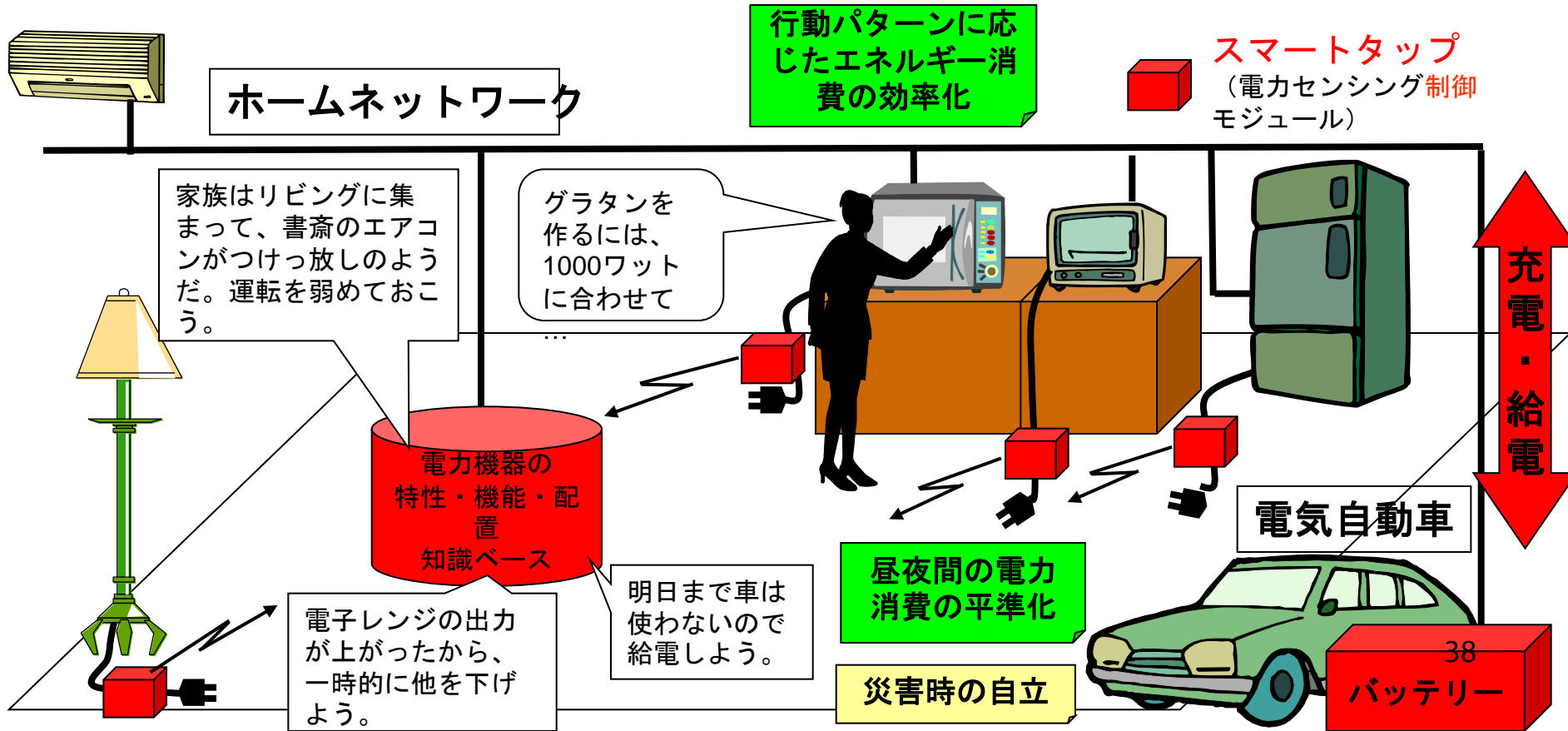
2. オンデマンド型電力ネットワークによる 高度電力マネージメント



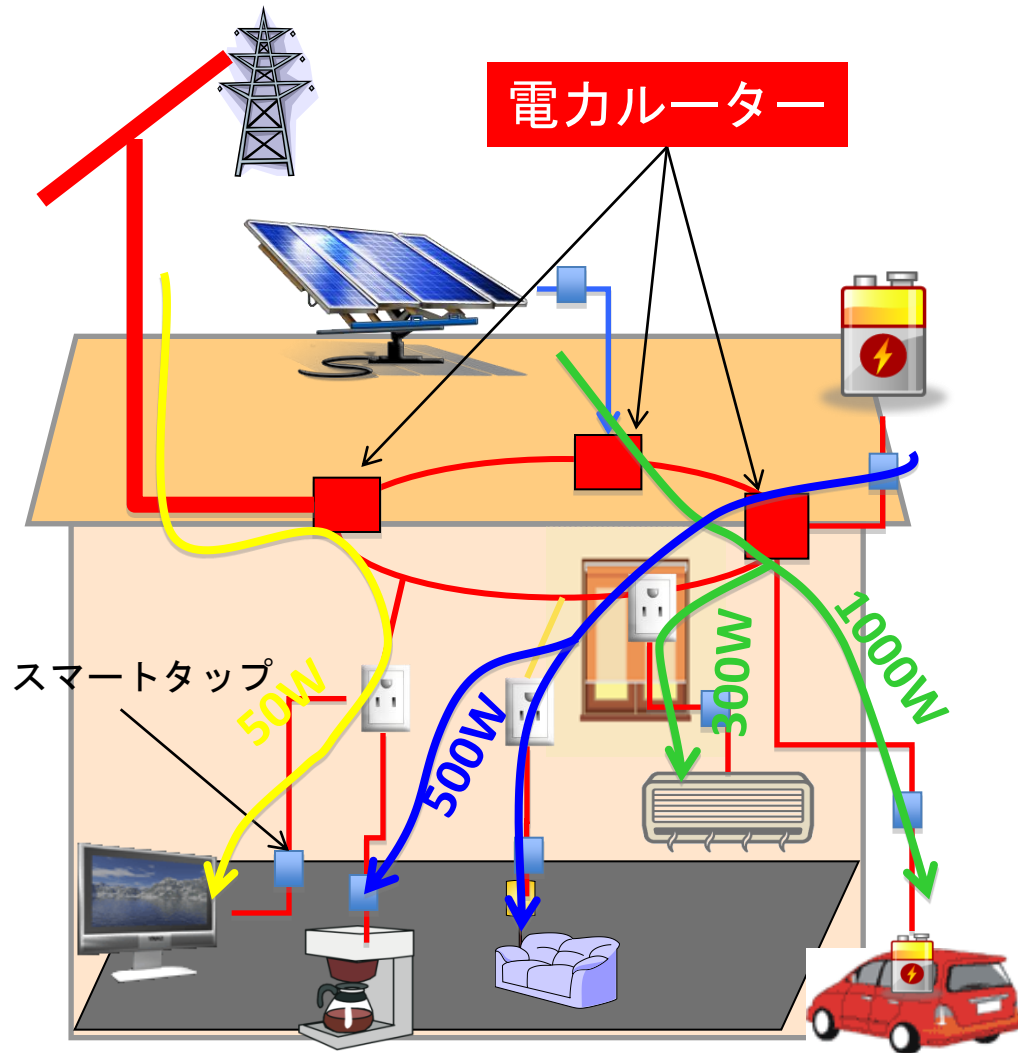
【フェーズ2】

2010年度マンションルーム、2011年一戸建て住宅で実証実験

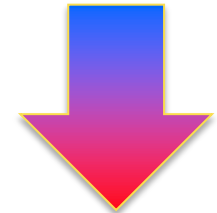
スマートタップに電力制御機能を付加し、蓄・給電も含め、各電気機器をネットワーク経由で制御する。災害時の自立生活支援による安心・安全な生活、電力消費平準化によるエコ生活支援を行う。



3. 家庭内ナノグリッドによる 電力カラーリング (由来別制御)



単一電源



複数電源

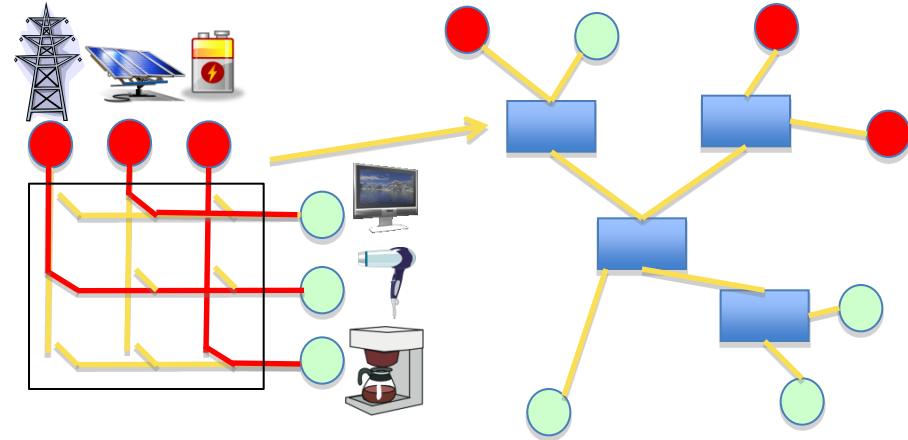
電力ルータの実現方式



1. 回線交換方式

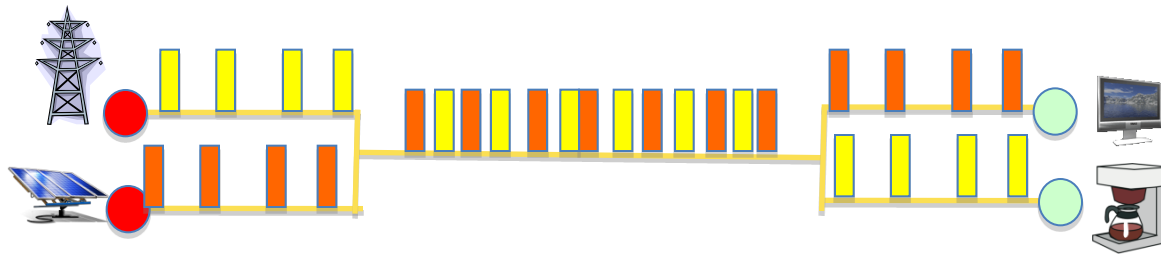
- スイッチで経路を切替

電力ルータ



2. 電力パケット方式（時分割、符号化）

- 電力をパケットにして送る



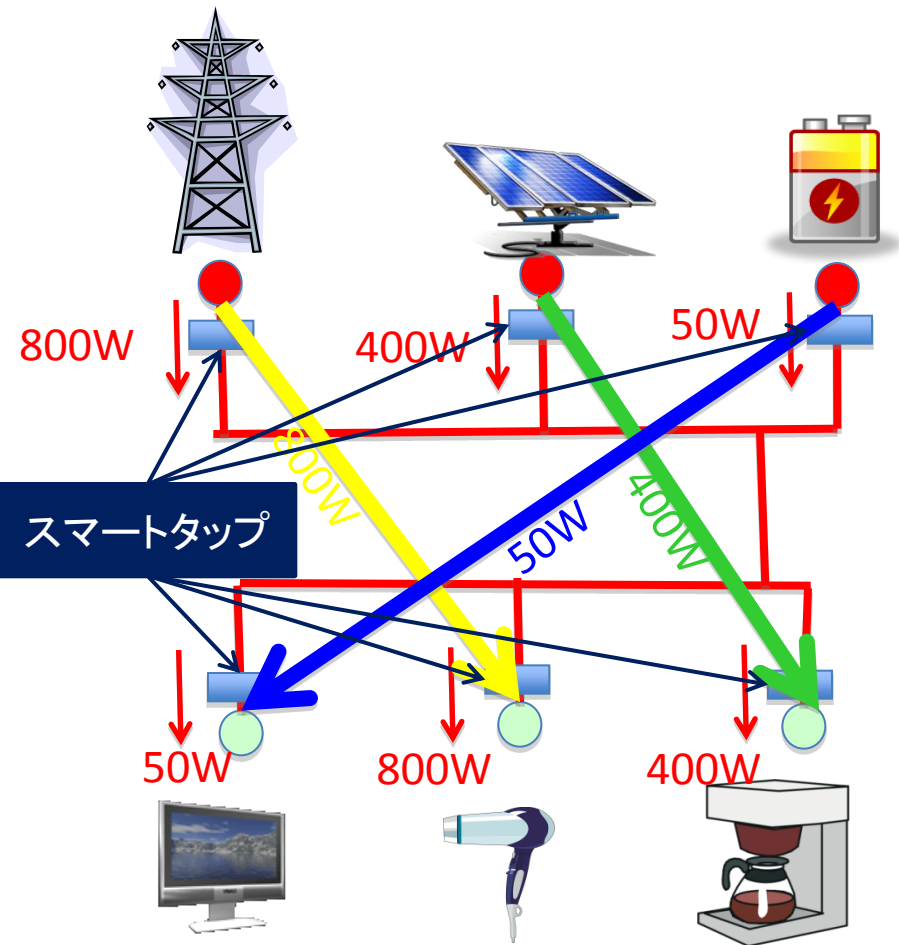
3. 分散協調制御方式（仮想化方式）

- 多数の分散コントローラの連携制御

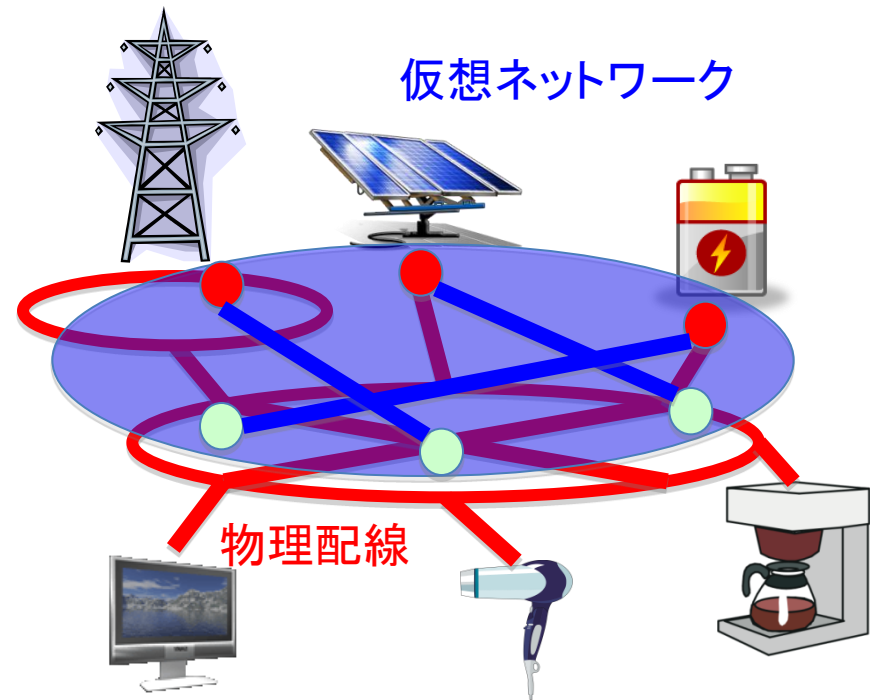
分散協調制御方式による電力カラーリング

電力制御機能付きスマートタップ群
の実時間協調動作

入り口と出口の電力のつじつまが
合うように出入口で制御



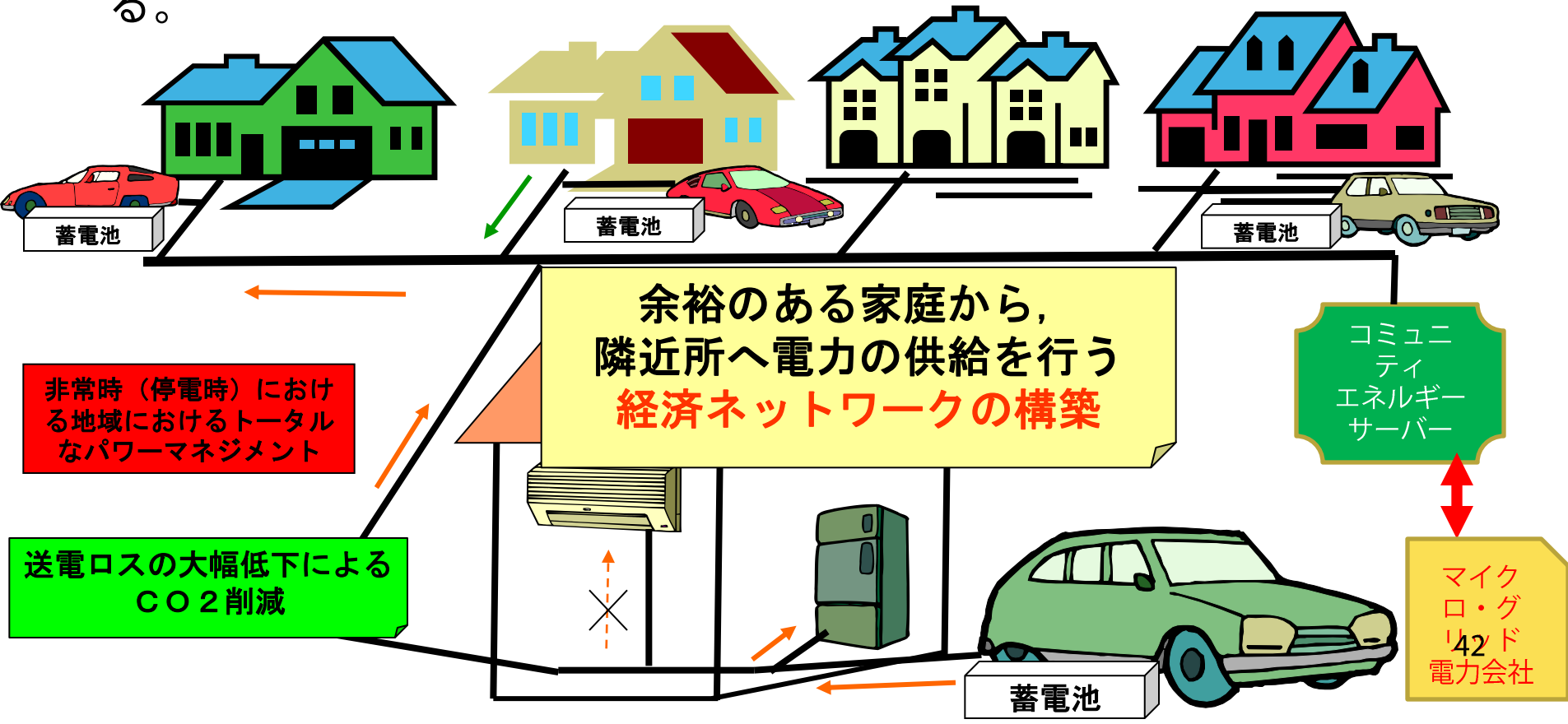
電力のオーバーレイネットワーク



4. 地域ナノグリッドによる エネルギー売買市場の創成

【フェーズ4】 長期的課題（5～10年後実用化）

地域内の家庭間をネットワークで結び、個々の電力マネージメントシステムを統合し、相互に電力のやり取りを可能にする地域エネルギーマネージメントシステムを構築する。これによって**効率的かつ災害に強い**エネルギー基盤（超分散型電力ネットワーク）を持った社会が実現できる。



5. 地域ナノ・グリッド⇒京都モデル⇒世界モデル

【フェーズ5】新興国、発展途上国において普遍的な、送電網が整備されていない地域における社会基盤構築を通じて、CO₂削減、世界市場でのビジネス展開を図る。



「エネルギーの情報化」の実現に向けた 今後の計画



1. 電力センサ（**スマートタップ**）ネットワークによる
 - ・エネルギー消費の見える化
 - ・人間行動の学習・見守り **スマートタップの商品化**
スマートマンションルームでのエネルギー消費データの分析
2. **オンデマンド型電力ネットワーク**による
高度電力マネージメント
スマートマンションルームに蓄電池を導入してシステム開発
3. 家庭内ナノグリッドによる
電力カラーリング（由来別制御）
安全かつ多様な電力制御を実現するための方式に関する研究
4. 地域ナノグリッドによる
エネルギー売買市場の創成

Yes, we have Kyoto model !

けいはんなモデル「地域ナノグリッド」を国際標準に！
科学技術立国「日本」から新たな「環境・エネルギー」産業の創出を！

京都議定書誕生の地、京都から世界に発信！

Do you kyoto ?



Do you Kyoto?号(山田京都府知事公用車)

「Do you Kyoto?」は、「あなたは、環境に良いことをしていますか?」という世界の共通語