

リアル空間の情報モデルについて ～W3C Web of Thingsの事例を交えて～

2020年1月27日

株式会社富士通研究所

ICTシステム研究所

松倉隆一 (r.matsukura@jp.fujitsu.com)

■ IoT関連国プロ(総務省)への関わり

- 2010年 エネルギー統合制御(スマートグリッド)
- 2012～4年 先進的ICT標準化(スマートコミュニティ)
- 2015～8年 IoT共通基盤の確立・実証(Web of Things、運用管理)
- 2018年 PRISM施設園芸における通信技術(農水省、文科省連携)



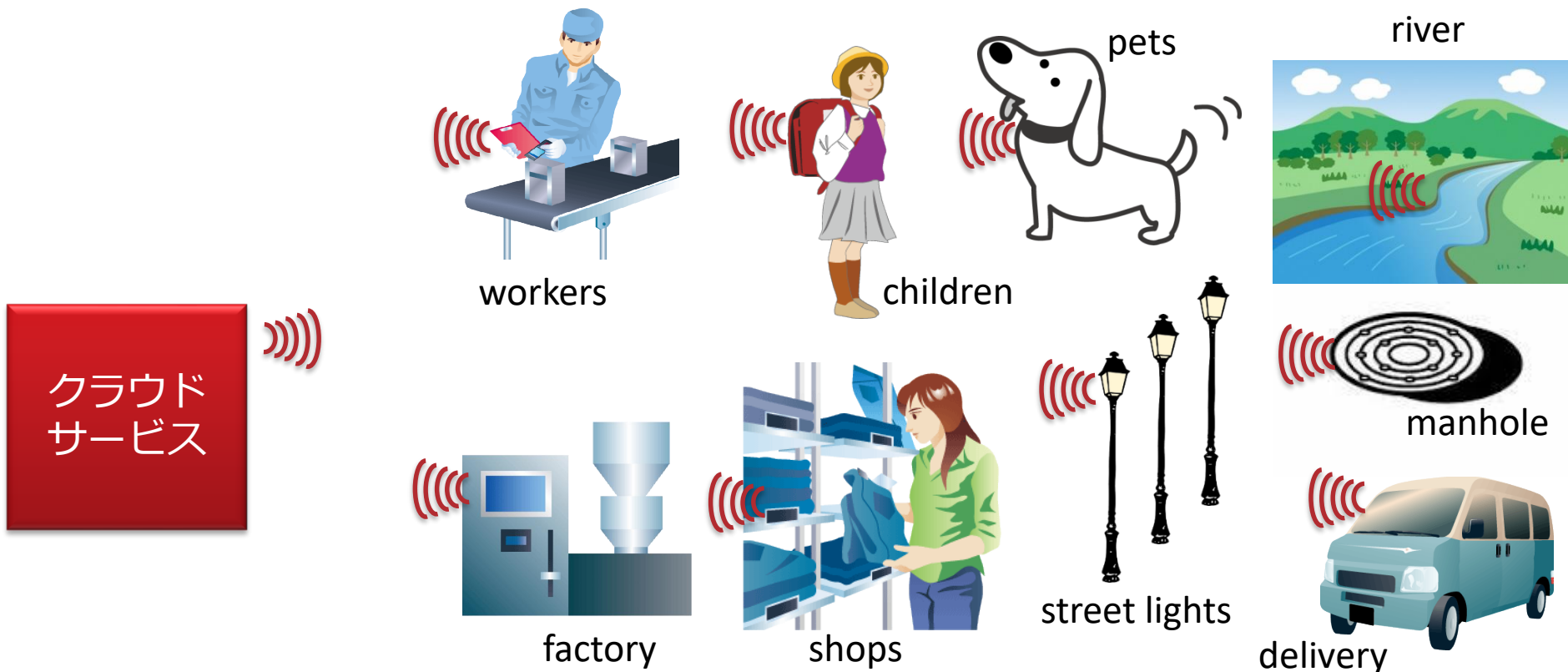
■ 標準化

- 情報通信技術委員会(TTC)IoTエリアネットワーク専門委員会SWG主査
- スマートIoT推進フォーラム技術標準化分科会SWG主査
- ITU-T Y.4409(2015年勧告化)、G.9973(2018年勧告化)
- IEEE 802.1CF(2019年勧告化)
- W3C Web of Thing(2020年2月勧告化見込み)

IoTを利用した事例

■ IoTデバイスが無線で接続、クラウド処理してサービスとして提供

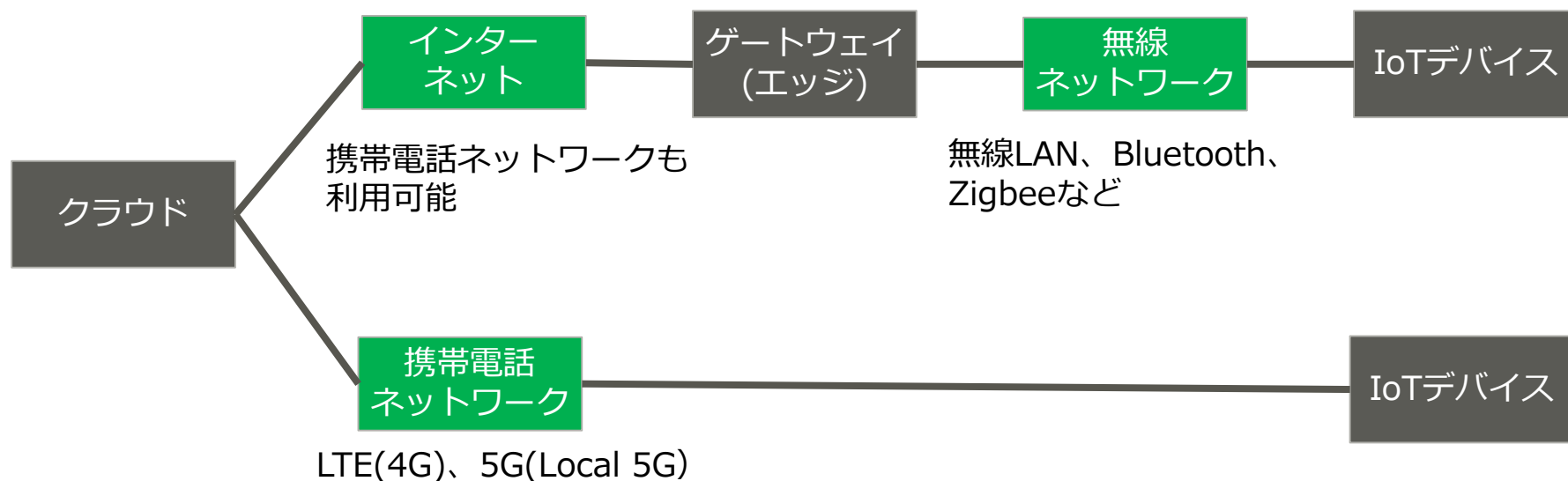
- インフラの監視：河川、マンホール、道路、流通
- 設備の監視：工場の設備、販売店の製品
- 行動の監視：作業者、子供、ペット



■ IoTデータを機械学習するには、高性能コンピュータが必要となる

- システム構成として、何らかの形でクラウド(サーバ)に接続される
- IoT装置が、ローカルネットワークに接続されるケースと、携帯電話ネットワークに直接接続されるケースの2種類

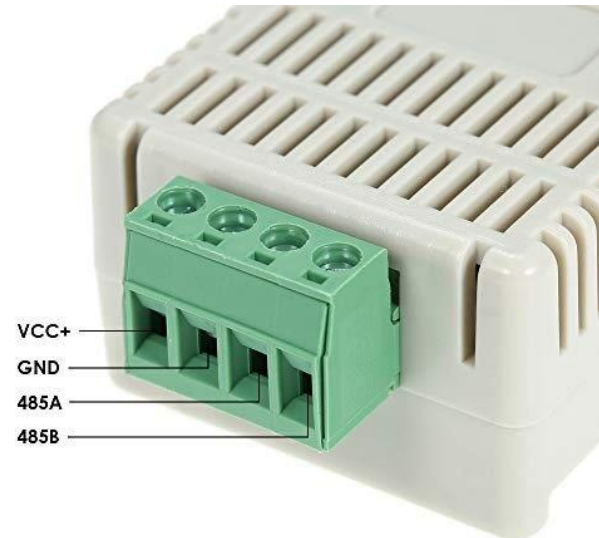
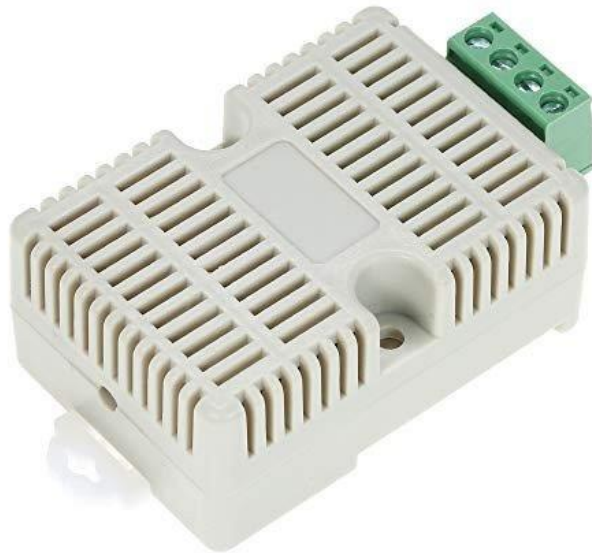
【ローカルネットワーク接続】



【携帯電話ネットワーク接続】

どうやってクラウドに接続するか？

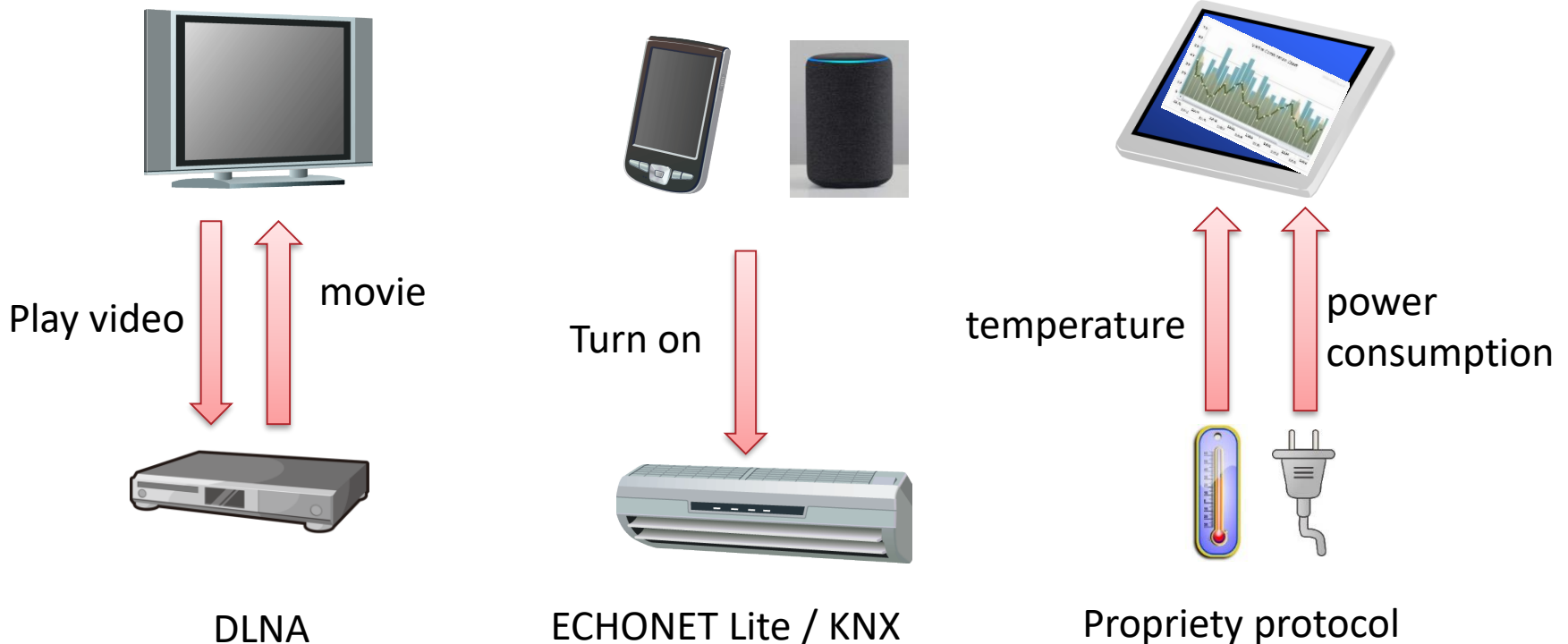
■ 温度センサー（RS-485、Modbus）



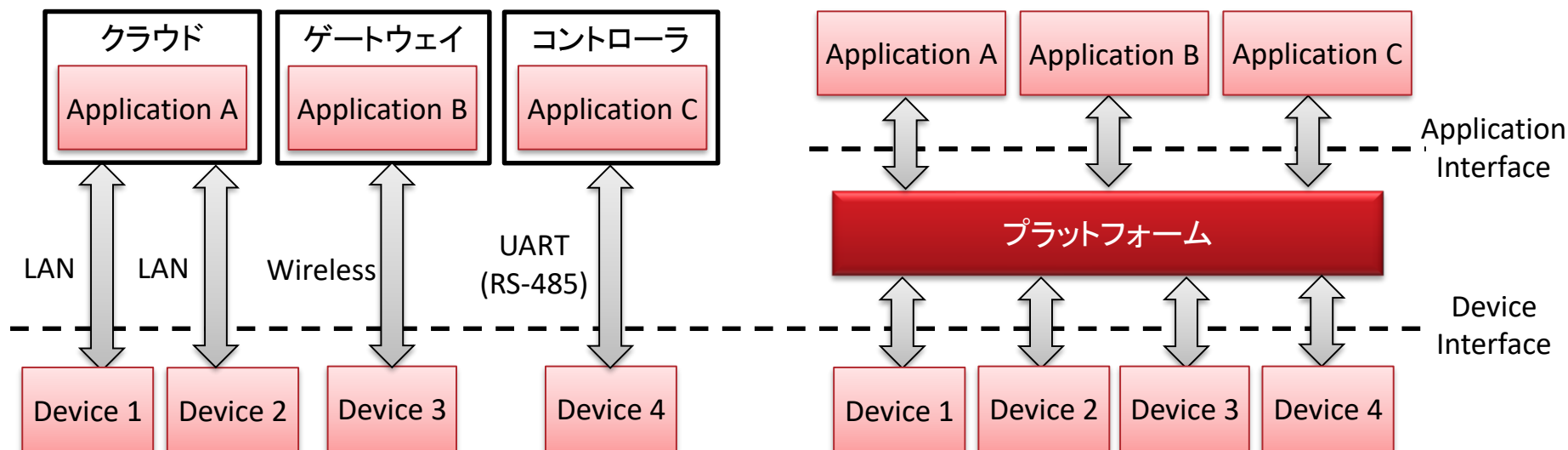
現在：デバイス側の都合で一方的にインタフェースが決められている
今後：エッジ・クラウドとの役割分担を決めて、相互に都合の良いインタフェースを実現したい

従来のアプリケーション開発

- 多くのアプリケーションは、個々のインタフェースに合わせて開発
 - DLNA: テレビとビデオやオーディオセットと接続
 - ECHONET Lite/KNX: スマートフォン・スマートスピーカと家電を接続
 - 独自インタフェース: データシートに合わせて接続



- デバイス毎に専用プログラムを開発するとサイロ化してしまう
 - 一度サイロ化してしまうと、統合することはかなり難しい
 - 異分野領域のシステムが相互に接続可能な枠組みの必要性
- プラットフォームは、デバイスとエッジ・クラウドとの境界を埋める
 - アプリケーションに対するインタフェースを共通化する
 - デバイスに対して**考慮すべきこと**を隠蔽する



■ デジタル化により「デジタルツイン」の実現

- フィジカル(リアル)空間のコピーをサイバー空間に実現する
- サイバー空間でシミュレーションを行い、その結果をフィジカル空間で活用
- 蓄積したデータをオープンにして、新しいビジネスを創造し、データビジネスを実現

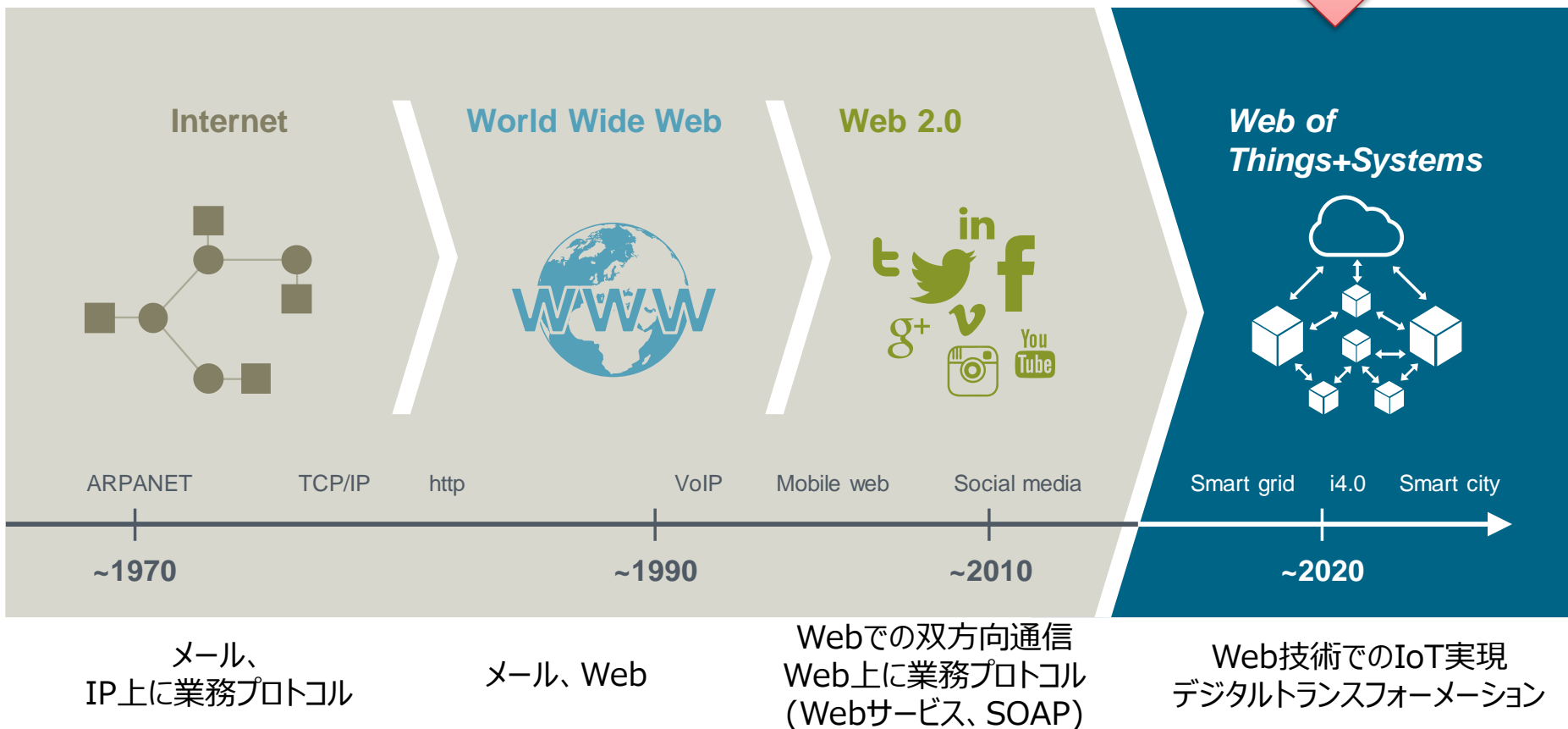


インターネットの進化

■ Web技術が様々な場面で利用可能になる

- ソフトウェア開発者は圧倒的にWebアプリ開発者が多い
- Web技術がデジタル化を牽引している

リアル空間も
Web技術で統合

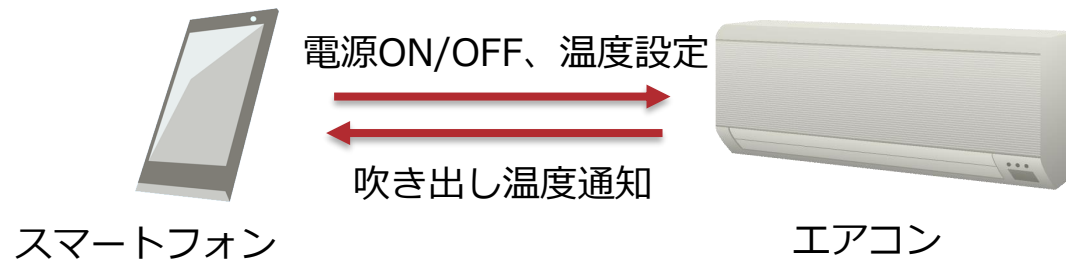
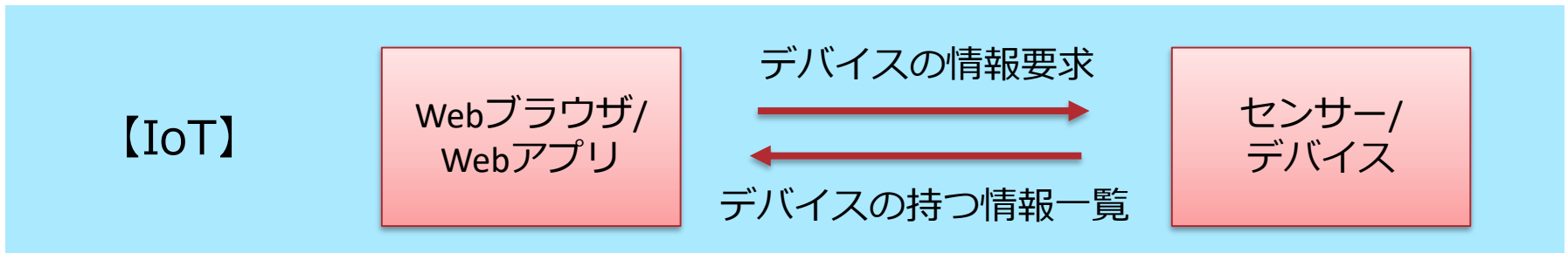
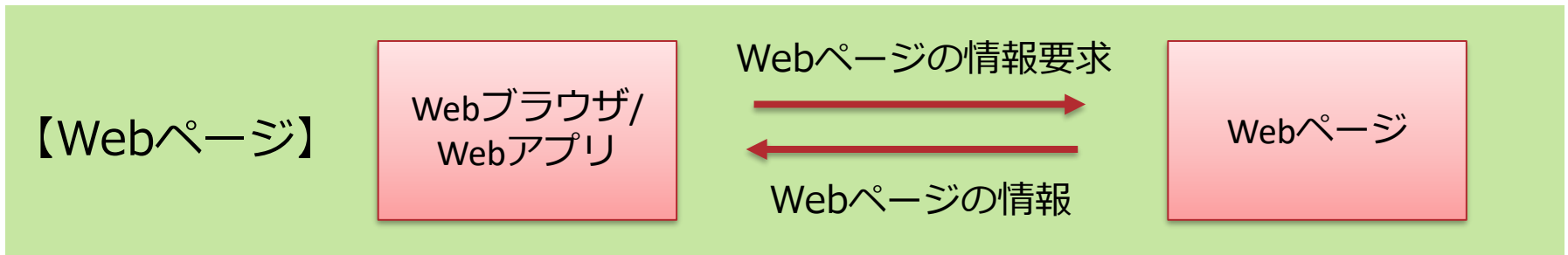


出典：CEATEC2019講演資料「インダストリ4.0とスマート製造における標準化の重要性」に加筆

リアル空間のサイバー空間へのマッピング方法

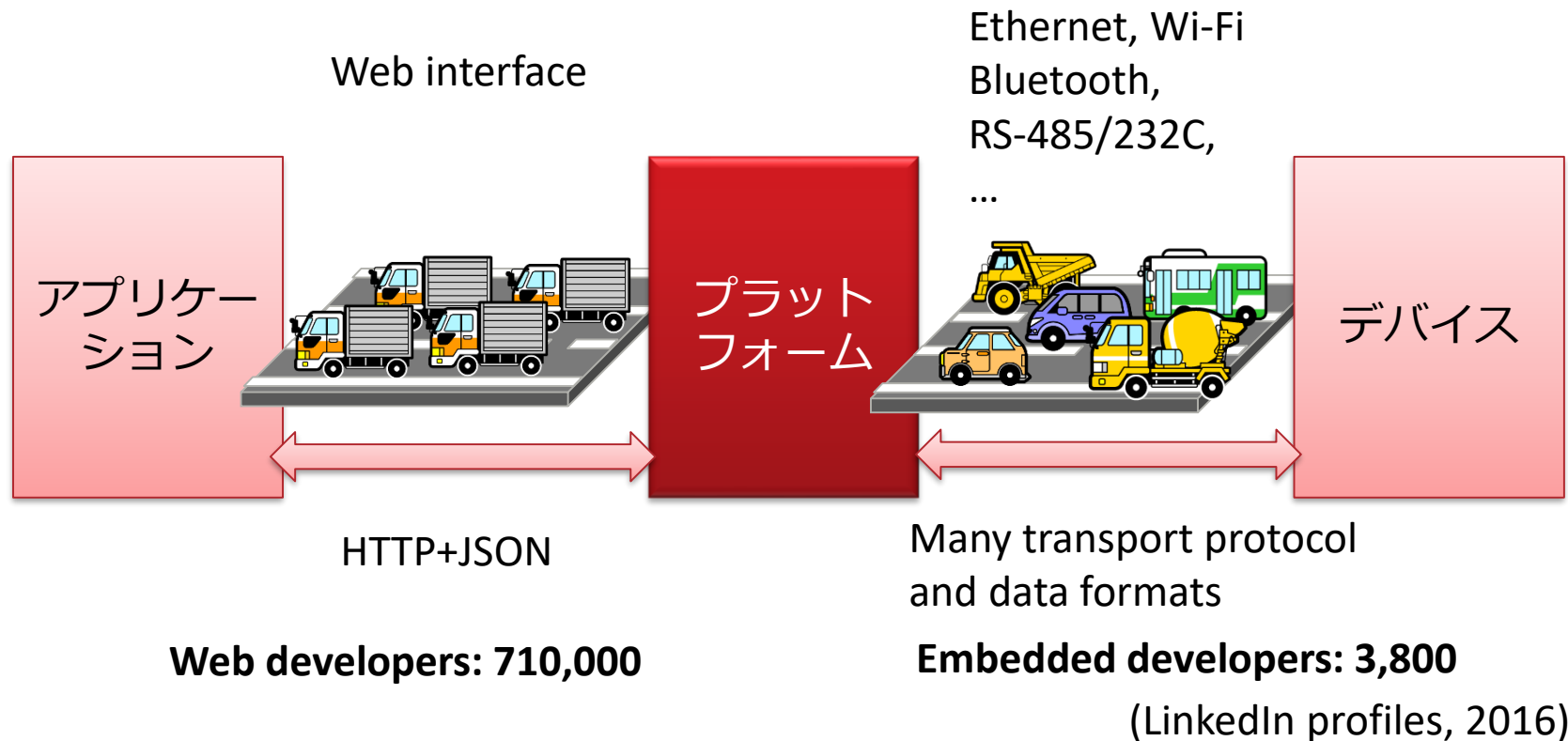
■ リアル空間をWebページと同じように扱いたい

- 個々のデバイスにURLを付与し、デバイス機能を抽象表現(JSON)で取得
- Webページ(従来のサイバー空間)と**IoT(リアル空間)**を**同じ枠組みで統合できる**



多様なデバイスインタフェース

- プラットフォームは、デバイスとアプリケーションの様々なギャップを吸収する
 - デバイスインタフェースは、様々な通信プロトコルとデータ形式をもつ
 - アプリケーションインタフェースは、開発者に親しみやすいWebインタフェース
 - 最近のクラウドAPIは、ほぼWebインタフェースになっている
 - AWS、Google、楽天APIマーケット(Rapid API)



デバイス機能の表現方法(情報モデル)

■ デバイスの物理インタフェース・実装方法に依存しない、デバイス機能の共通表現(仮想デバイス)を定義する

- デバイスの機能をプロパティ(項目)として定義する。値を読み出し、更新することで機械の動作が変更される

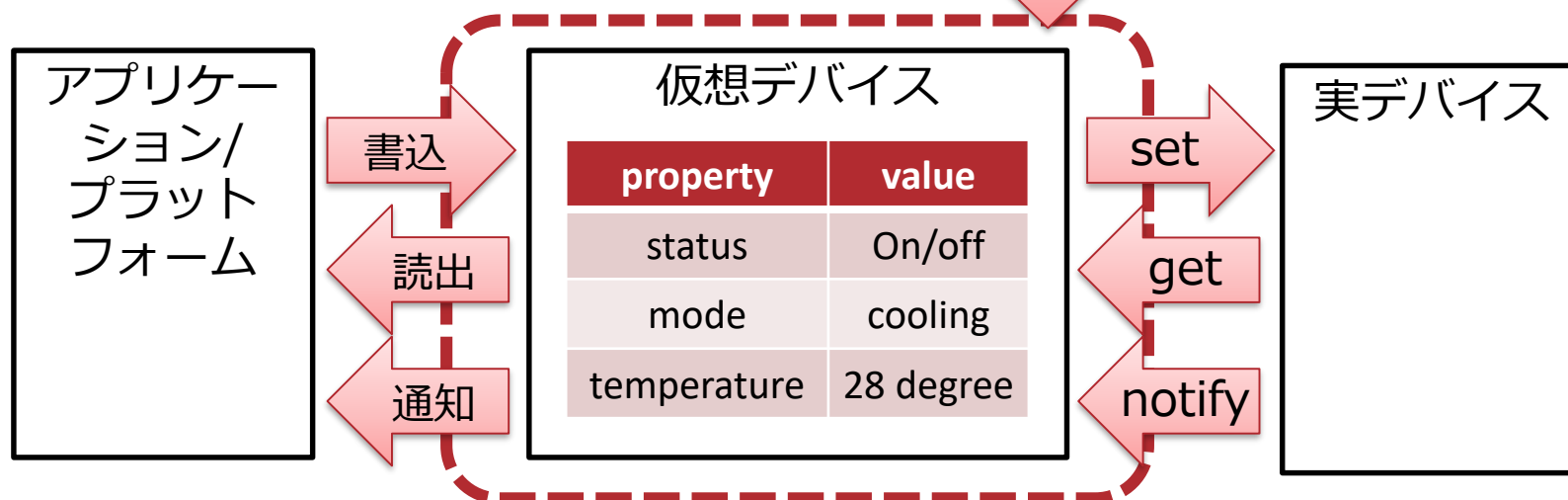
☞ Webページの内容の記載方法に相当する

- 仮想デバイスに対してアドレスをつける

☞ Webページのアドレスに相当する

記述言語(JSON)
の標準化が進行

Thing Description
(W3C Web of Things)



プロパティ名については、業界毎の規格の中で情報モデルとして規定されることが多い。

共通表現の例(Web of Things)

■ LED照明の記述例（外部定義される語彙で一意に定義される）

```
{
  "@context": [
    "https://www.w3.org/2019/wot/td/v1",
    { "iot": "http://iotschema.org/" }
  ],
  "id": "urn:dev:org:32473:1234567890",
  "title": "MyLEDThing",
  "description": "RGB LED torchiere",
  "@type": ["Thing", "iot:Light"],
  "securityDefinitions": [{"default": {
    "scheme": "bearer"
  }
}],
  "security": ["default"],
  "properties": {
    "brightness": {
      "@type": ["iot:Brightness"],
      "type": "integer",
      "minimum": 0,
      "maximum": 100,
      "forms": [ ... ]
    }
  },
  "actions": {
    "fadeIn": {
      ...
    }
  }
}
```

Iotschema.orgの定義語彙利用宣言

プログラマが勝手につけた名前

Iotschema.orgで定義される名前

プログラマが勝手につけた機能名

Iotschema.orgで定義される機能名

セマンティクス（データタイプ、値の範囲）

■ schema.orgの拡張として、IoT語彙を定義

■ Thingの定義(<https://schema.org/Thing>)

- [Thing](#)
 - [Capability](#)
 - [MotionControl](#)
 - [VoltageMonitoring](#)
 - [ElectricBattery](#)
 - [Pump](#)
 - [AirConditioner](#)
 - [Camera](#)
 - [ElectricPowerSystem](#)
 - [TemperatureSensing](#)
 - [BinarySwitchControl](#)
 - [LevelSwitch](#)
 - [FloatSwitch](#)
 - [Microphone](#)
 - [UltrasonicSensing](#)
 - [HumiditySensing](#)
 - [SoundPressure](#)
 - [PowerMonitoring](#)
 - [EnergyMonitoring](#)
 - [Thermostat](#)
 - [ColourControl](#)
 - [AmbientAir](#)
 - [Valve](#)
 - [ElectricCurrentMonitoring](#)
 - [IlluminanceSensing](#)
 - [ProximitySensing](#)
 - [DimmerControl](#)



Thing

Thing

The most generic type of item.

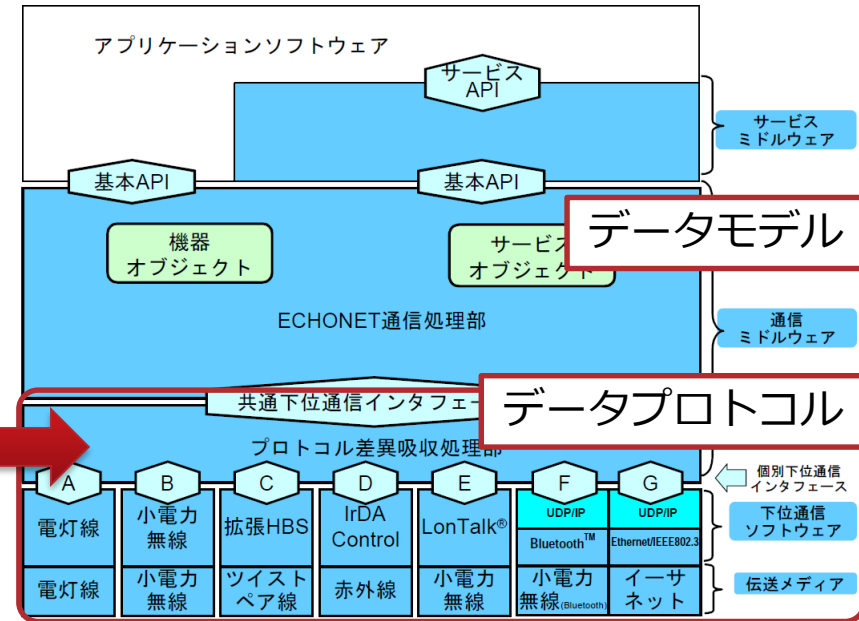
[more...]

Property	Expected Type	Description
Properties from Thing		
additionalType	URL	An additional type for the item, typically used for adding more specific types from external vocabularies in microdata syntax. This is a relationship between something and a class that the thing is in. In RDFa syntax, it is better to use the native RDFa syntax – the 'typeof' attribute – for multiple types. Schema.org tools may have only weaker understanding of extra types, in particular those defined externally.
alternateName	Text	An alias for the item.
description	Text	A description of the item.
disambiguatingDescription	Text	A sub property of description. A short description of the item used to disambiguate from other, similar items. Information from other properties (in particular, name) may be necessary for the description to be useful for disambiguation.
identifier	PropertyValue or Text or URL	The identifier property represents any kind of identifier for any kind of Thing , such as ISBNs, GTIN codes, UUIDs etc. Schema.org provides dedicated properties for representing many of these, either as textual strings or as URL (URI) links. See background notes for more details.
image	ImageObject or URL	An image of the item. This can be a URL or a fully described ImageObject .

外部定義語彙（例：ECHONET）

■ 住宅設備のデータモデルと通信方式

- 2000年にECHONET規格
 - 家電等のデータモデル作成
 - 通信媒体毎の接続方法を規定
- 2011年にLite規格(IPベース)
 - IPを基本として、データプロトコルを簡略化
 - データモデルは住宅設備を中心に80種類定義



プロパティ名称	EPC	プロパティ内容	データ型	データサイズ	単位	アクセスルール	必須	状態時 アナウンス	備考
		値域(10進表記)							
動作状態	0x80	ON/OFFの状態を示す。	unsigned char	1 Byte	-	Set	○	○	
		ON=0x30, OFF=0x31				Get	○		
節電動作設定	0x8F	機器の節電動作を設定し、状態を取得する。	unsigned char	1 Byte	-	Set/Get	○	○	
		節電動作中=0x41 通常動作中=0x42							
運転モード設定	0xB0	自動/冷房/暖房/除湿/送風/その他の運転モードを設定し、設定状態を取得する。	unsigned char	1 Byte	-	Set/Get	○	○	
		順番に以下のコードが対応。							

家庭用エアコンのデータモデル(一部)

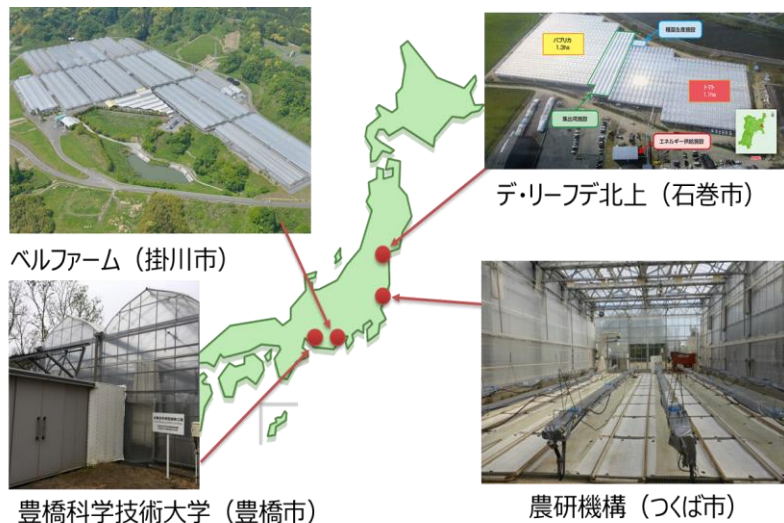
■ エコーネットコンソーシアムで規定される家電・住宅設備の情報モデル

機器クラス	機器オブジェクトが規定されるデバイス
センサ関連機器クラス	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、風呂吹き上がりセンサ、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、電流量センサ、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、気圧センサ（計44種）
空調関連機器クラス	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、電気蓄熱暖房機、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、業務用ガスヒートポンプエアコン室内機、業務用ガスヒートポンプエアコン室外機（計12種）
住宅設備関連機器クラス	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、瞬間式給湯器、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、低圧スマート電力量メータ、スマートガスメータ、高圧スマート電力量メータ、一般照明、単機能照明、固体発光光源用照明、ブザー、電気自動車充電器、小型風力発電、照明システム、マルチ入力PCS、ハイブリッド給湯器（計39種）
調理・家事関連機器クラス	電気ポット、冷凍冷蔵庫、オープンレンジ、クッキングヒータ、炊飯器、洗濯機、業務用ショーケース、衣類乾燥機、洗濯乾燥機、業務用ショーケース向け室外機（計10種）
健康関連機器クラス	体重計（計1種）
管理・操作関連機器	スイッチ（JEMA/HA端子対応）、コントローラ、DRイベントコントローラ、並列処理併用型電力制御（計4種）
AV関連機器	ディスプレイ、テレビ、オーディオ、ネットワークカメラ（計4種）

■ PRISM(2018年度) = 農水省、総務省、文科省

計画	成果・達成状況
<ul style="list-style-type: none"> 農業生産効率化につながるセンサ1,000台規模のWoT基盤の実証環境の構築 基盤技術の普及に向けてセキュリティや詳細の実装方法に関する国際標準化推進 	<ul style="list-style-type: none"> 全国4か所6施設にセンサ1,056台を設置し、WoTに準拠したIoT基盤技術で実証開始 ITU-T SG20及びW3C WoT-WGにて新規提案を行い、標準化項目として承認

社会実装した施設 (4か所6施設)



農研機構及びベルファームは各2施設に設置
合計センサユニット176台 (センサ1,056台)

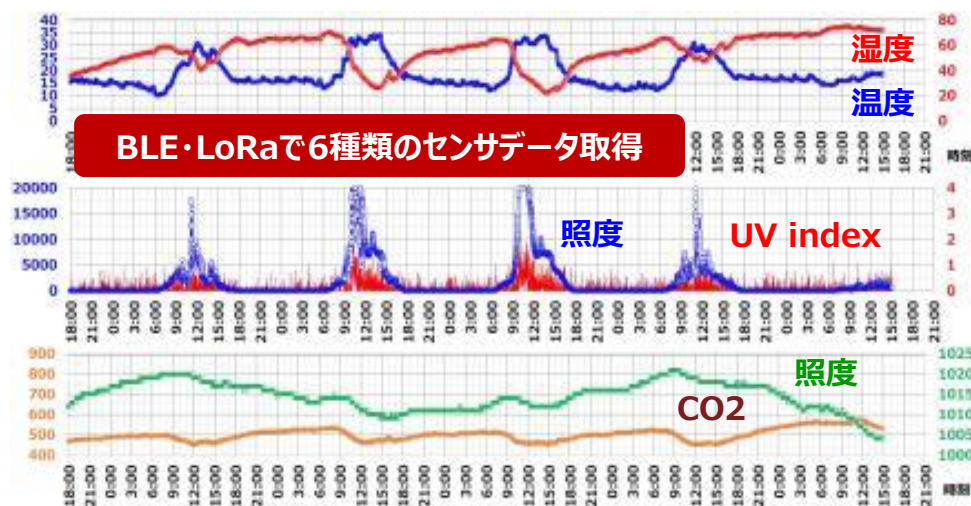
園芸施設に設置したゲートウェイとセンサ



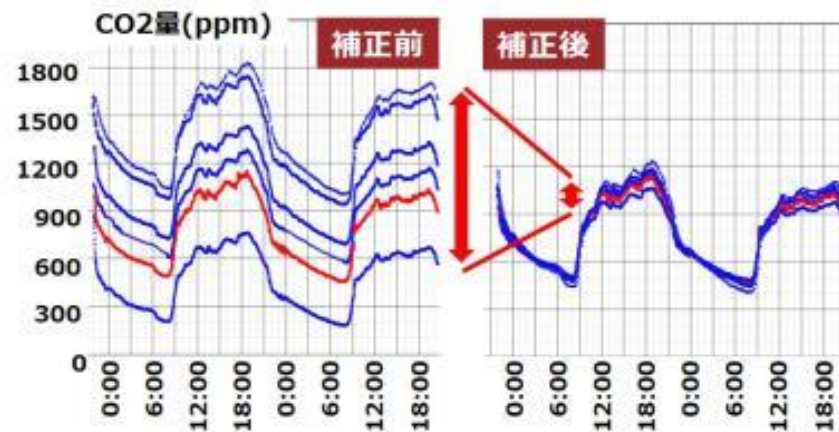
開発したバッテリーレスセンサ

■電池交換不要なバッテリーレスセンサ

- 太陽光パネルとキャパシタを内蔵し、24時間動作可能
- 2種類の通信方式(Bluetooth, LoRa)で通信する
- 共通データ形式に変換しやすい
- トラブルデータも通信可能
- 送信間隔や待機時間を自律的に変更する電源制御技術を実現



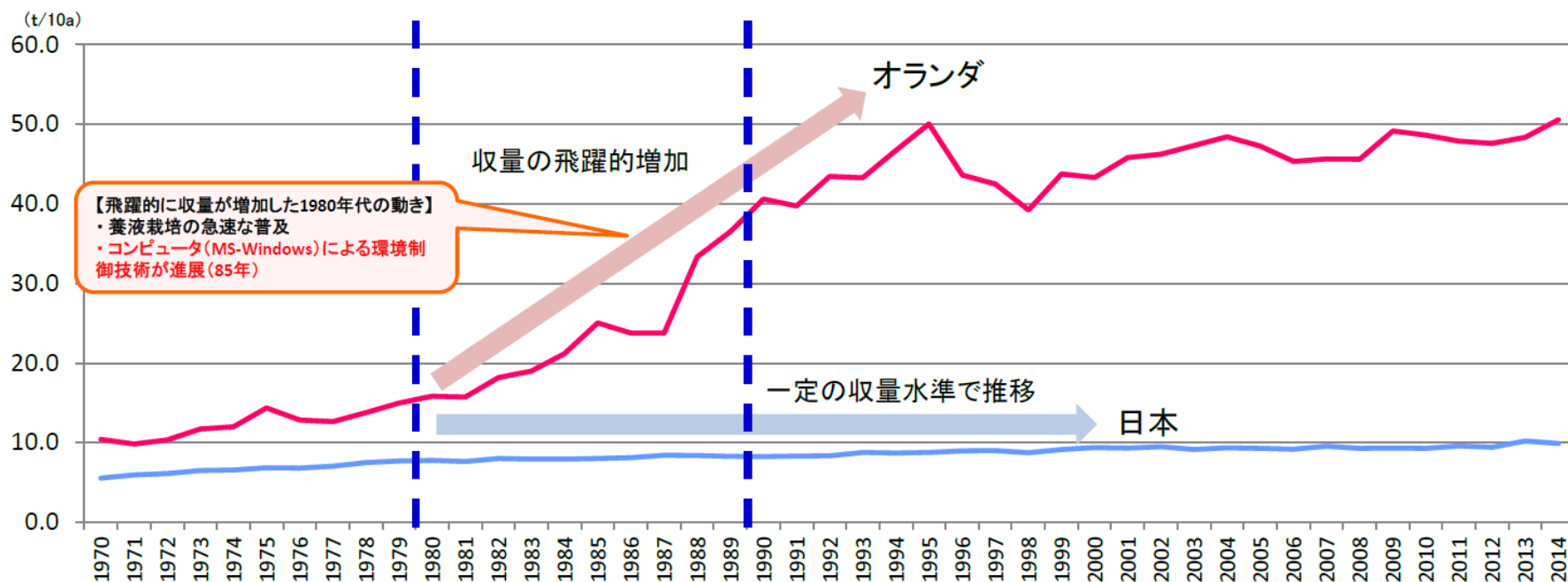
安価なセンサのばらつき補正



■ 安定して年間を通じた農作物の供給が可能

- トマト栽培では、9月に植えて翌年6月まで10か月間連続して収穫する
- 10aあたりの収穫量が養液栽培とCO2生成器によって大幅に向上
 - オランダでは、植物生理の研究が進み、植物の生育にあった環境の制御を実現
 - 1985年頃から15年で収穫量が3倍に増加、理論的には200t/10aが可能

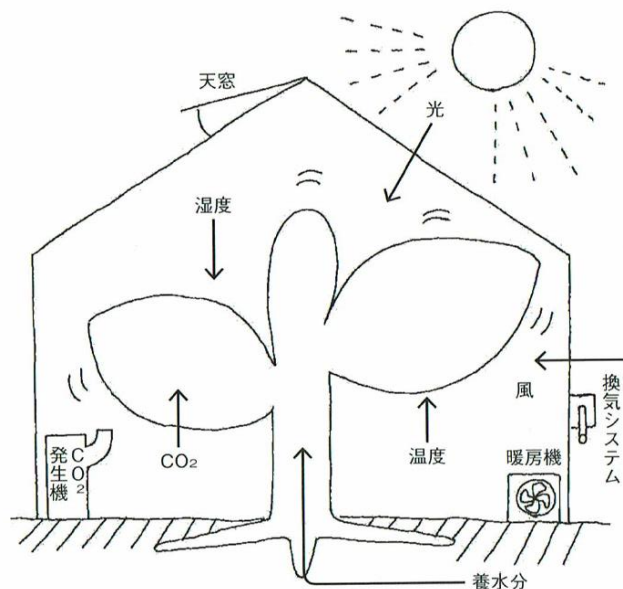
【トマトの10a当たり収量の推移】



出典：オランダ：FAOSTAT、日本：野菜生産出荷統計（冬春トマト）

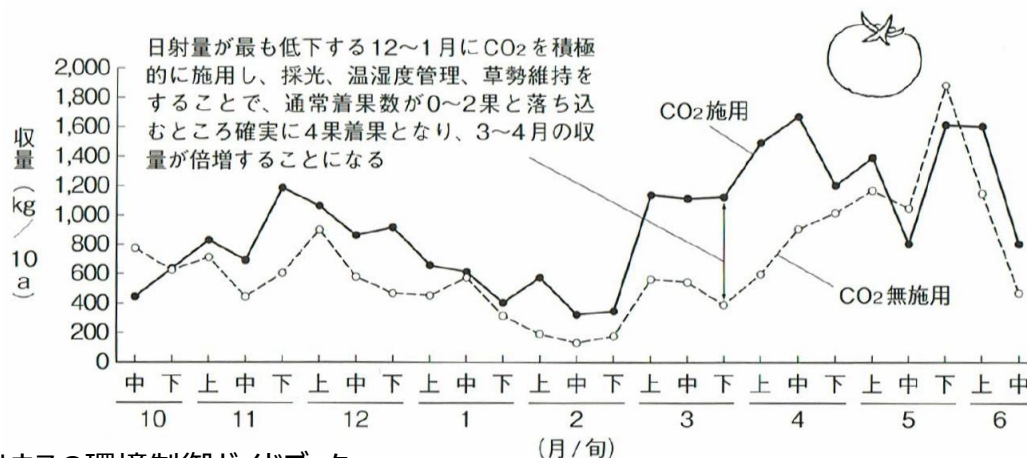
■ コンピュータによる高収量栽培のための制御方法

- 作物の生育にかかわる温度、湿度、CO₂、光、風、養水分などの環境要因を統合的に判断してハウス内の各種機器を制御し、最適環境を作り出すこと



出典：斎藤、ハウスの環境制御ガイドブック

光合成の最大化がもっとも重要
 ・CO₂と水の供給が大切

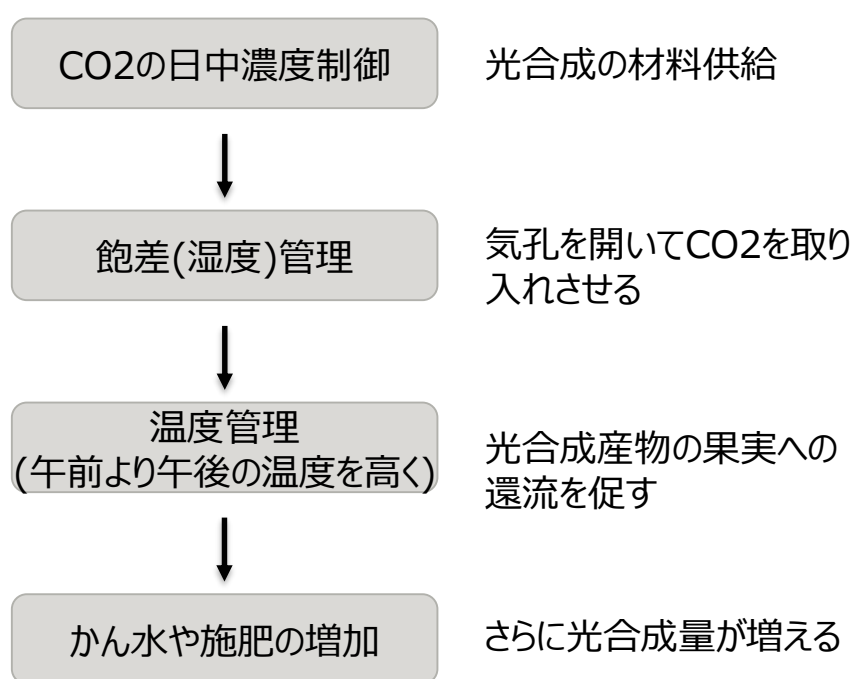


■ 環境制御のねらい

- 光合成速度の増大による収量の向上
- 湿度制御による病害発生抑制・労力削減
- 化石燃料や水、肥料、光などの利用効率向上

■ 施設内の環境測定し、植物の生育に最適な条件に近づける

- 基本的な考え方は、光合成量を最大にすること
- 制御方法は様々であり、それぞれの方法が他に副作用をあたえる関係にあるため、最適条件を満たす制御はそれほど簡単ではない
- 事業性を確保するために、採算性のある方法でなければならない
 - 補助金なしで採算が確保できることが重要



外的な影響をできるだけ受けない生育環境

- ・土を使わない
- ・環境を制御する

ただし、太陽光は利用する(コスト削減)

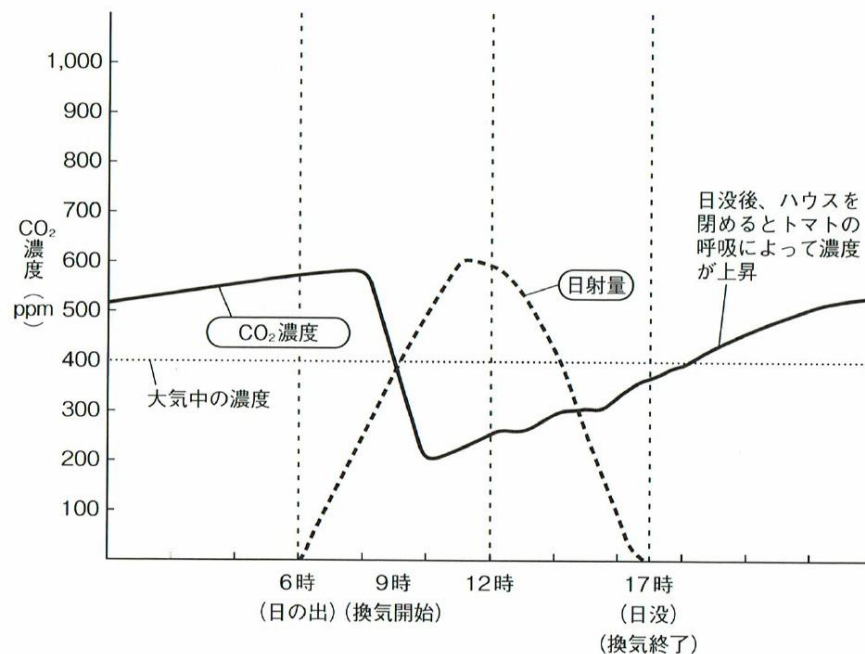
様々な条件を考慮すると、人手ではできない複雑な制御となるためICT化は必須

■ 大気のCO2濃度(400ppm)で植物の光合成が効率的

- 350ppmを下回ると成長量は大きく減少
- 600ppmを上回ると成長量の増加率は小さくなる

■ CO2制御

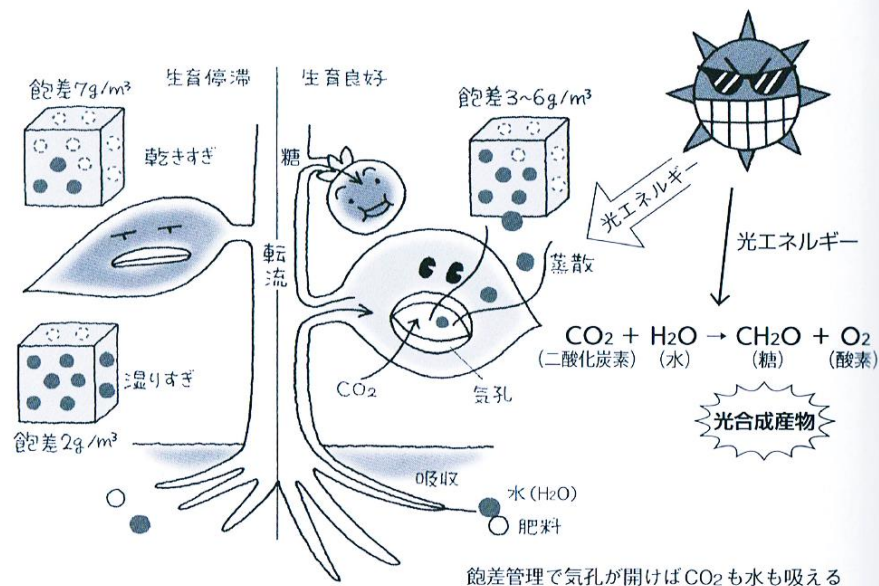
- CO2発生機、CO2ポンプを利用して、不足するCO2を補う
- 換気する場合には外気からある程度賄うことができるが、植物が光合成を始めると一気に濃度が下がる



出典：斎藤、ハウスの環境制御ガイドブック

- 湿度によって気孔の開閉と病害発生をコントロールすることができる
 - 気孔は、植物内の水分を外部に蒸散したり、CO₂を取り入れる役目を持つ
 - 果実への結露は病気の原因になる
- 湿度の管理は難しい
 - 光合成を促進するには水分が必要だが、過剰な水分は結露を引き起こす
 - 湿度の管理には、換気(換気窓)、除湿機等の利用があるが、急激な温度変化は結露につながるためこまめな制御が必要

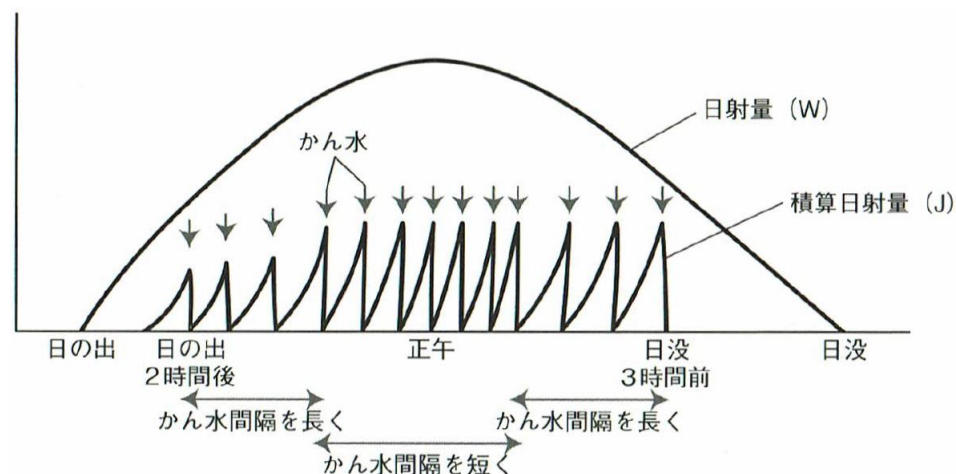
農水省PRISMでは、物質・材料研究機構がモイスチャセンサを開発。目に見えない大きさの結露を検出して、病気の予防に寄与。



出典：斎藤、ハウスの環境制御ガイドブック

- 植物体の90%が水分であり、水分不足は生育障害を引き起こす
 - かん水は日射量に比例して必要になるが、水分の過不足はできるだけ避ける
 - 水分の過剰は根腐れの原因になり、不足は光合成が十分に行われない
- 理想的には、かん水は少量ずつ多頻度行うほうがよい
 - 日射量に応じて水分を調節する
 - 水分の供給は頻繁に、積算した日射量に合わせて調節する

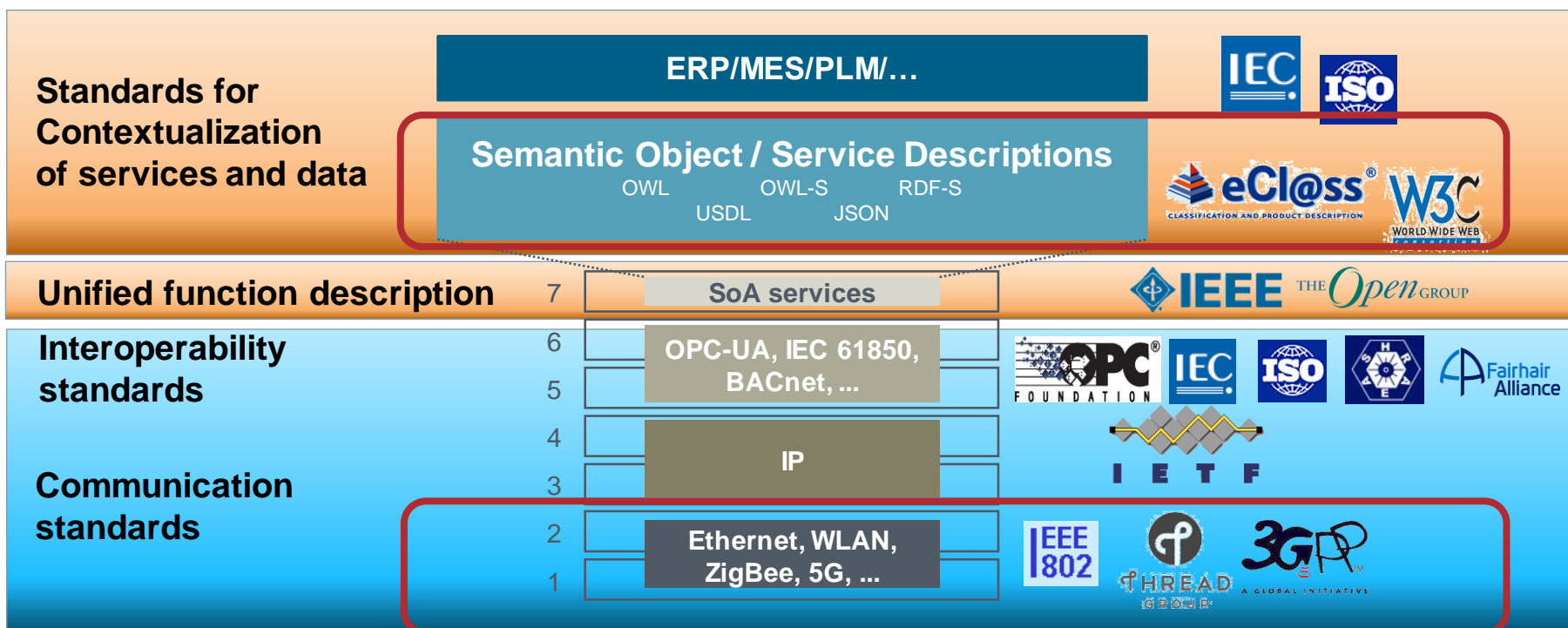
植物が吸収する水分量については、養液濃度とも密接に関係があり、水分量調整の他に養液濃度の調整を行わなければならない。



出典：斎藤、ハウスの環境制御ガイドブック

■ サイバーフィジカルシステムを利用したスマートファクトリの実現

- デバイスから基幹システムまでをつなぎ合わせる規格
- 無線規格と情報モデル(語彙規格、サービス記述)が未解決



Source: Adapted from Prof. Wahlster, DFKI

業界、企業毎に語彙が異なるため、サービス統合のためには大きな障壁になっている
→2000年よりeCl@ssを設立し、語彙規格を策定してきている

■ 2000年に設立、現在140社が参加

- Siemens、BASF、AUDI/VW、SAP、Bayer等が設立
- 業界横断で利用可能なデータ交換を規格化すること

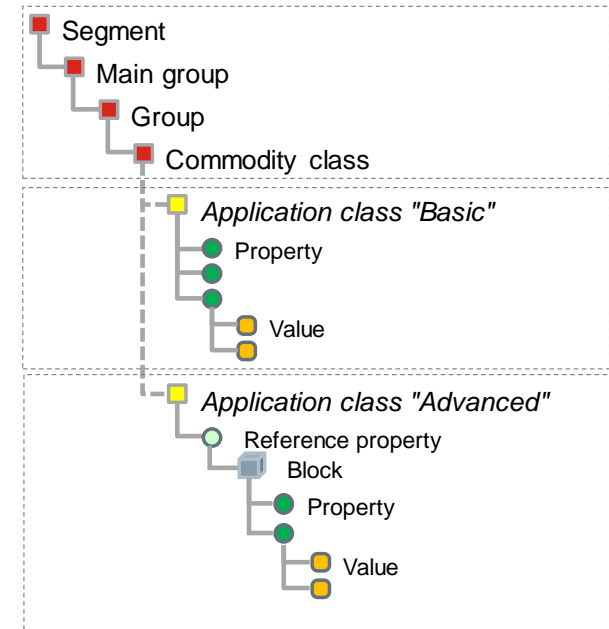


■ 規格の概要

- 装置・設備をクラス、その機能をプロパティとして定義し、共通語彙を決める
- **40,000クラス、18,000プロパティが規定済み** (V.11)
- 3,500社が利用中(主に購買辞書として利用される)
 - 同様の試みは、データカタログ(JEITA)等にもある



Coded Name:	44-02-02-01
Preferred Name:	Covering valve (car/exterieur)
IRDI:	0173-1#01-AFV732#003



- IoT・デバイス・運用管理の通信規格は、アーキテクチャ、トランスポート、情報モデルからなっており、共通部分が多い

標準化団体	標準規定範囲		
	アーキテクチャ	トランスポート	情報モデル
oneM2M	TS-001	TS-0004	TS-0023(家電)
ITU-T SG20(SG13)	Y.4409(2070)	(規定範囲外)	
IIC(Industrie4.0連携)	IIRA		
W3C Web of Things	Architecture	Binding Template	Thing Description
ECHONET Consortium	(規定範囲外)	ECHONET Lite	オブジェクト詳細規定
Device WebAPI Consortium		OMA GotAPI	OMA DWAPI-PCH
OMA		OMA LWM2M	Smart Object(IPSO)
KNX Association		KNX	Application Description
Broadband forum	TR-069	TR-069	TR-181
IETF	NETCONF	NETCONF(RFC6241)	YANG(RFC6020)


最近の傾向はWeb技術による実装
トランスポートはHTTP、情報モデルはJSON

- リアル空間(IoT)をWeb技術によりサイバー空間に写像
 - RESTアーキテクチャに基づいてIoTを実現し、従来のサイバー空間と融合
 - 抽象的な共通形式によってリアル空間を記述
 - 外部語彙定義を利用することで、セマンティクスの共通化を図る

- サイバー空間実現には、リアル空間の知識が必要となる
 - 住宅、ビル、工場、農業等の現場の知識なくしてサイバー空間を語れない
 - 理想的には、両分野を十分に理解して、それぞれの機能分担を考え、システム全体を設計することが必要
 - 一度で完成させることはできないので、アジャイル開発が必要
 - 現実には適用領域に依存するケースが多く、現時点では汎用的な枠組みは困難
 - スマートホーム、スマートファクトリ、スマート農業など、分野を特定すれば汎用的なプラットフォームが実現可能になりつつある

サイリアルシミュレーションを推進するためには、研究者は連携して技術を積み上げていく必要がある

ご清聴ありがとうございました


FUJITSU

shaping tomorrow with you