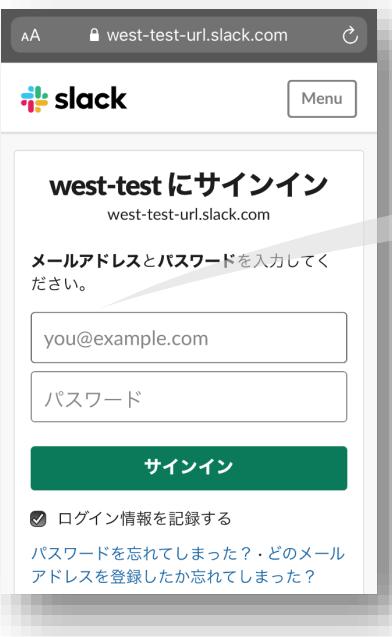


この授業のスライドはkeio.jpで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ

<https://keio-st-multimedia.slack.com>

(1) 無料のSlackアプリをインストールを済ませておく
(2) その後、通知したURLにアクセスし、下にスライド、



(3) 下にある、「アカウントを作成する」をクリック、



(4) keio.jpのメールアドレスを入力後、「アカウントを作成」をクリック、



(5) keio.jpのgmailに届くメールにある「ここをクリックして続行」を押し、



(6) 名前に続き、パスワードを入力、



(7) 「同意する」を押すと、



keio.jpアカウントを用いたSlackによる授業ワークスペースへの参加の仕方

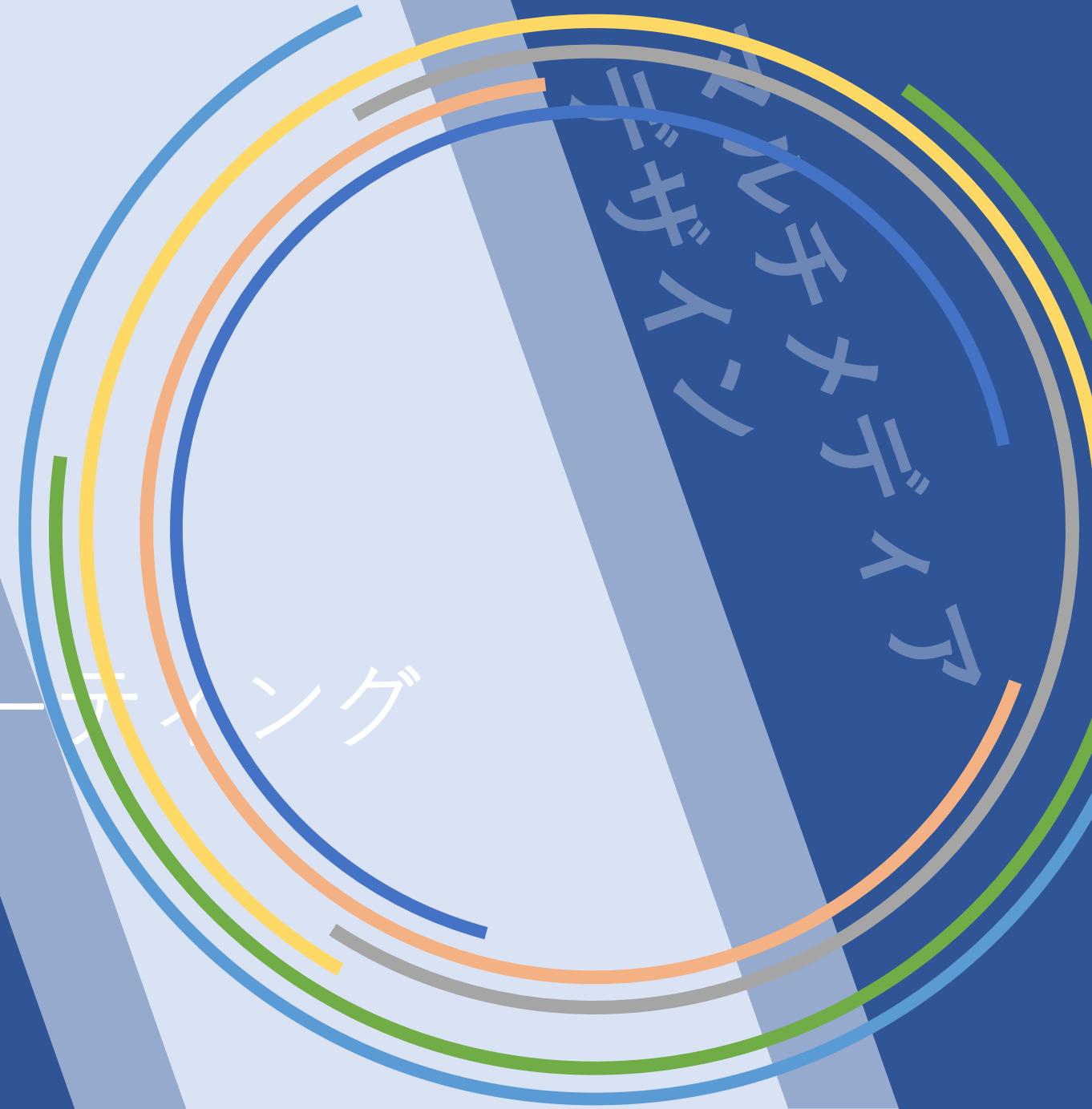
理工学部システムデザイン工学科 西



#2

センサネットワーク ユビキタスコンピューティング

担当： 西 宏章





ネットワークセンシング

- ・センサネットワーク
 - ・センサであり、かつ通信ノードであるセンサネットワークノードにより構成されるネットワーク
 - ・有線センサネットワークにおける媒体
 - ・LON、I2C、1-wire
 - ・無線センサネットワークにおける媒体
 - ・UWB、ZigBee、Bluetooth
- ・ユビキタス情報化の流れ
 - ・環境限定型から、全環境型へ
 - ・単点単次元独立型から、多点多次元融合型へ





ユビキタスコンピューティングとは

- ・ユビキタスとは、「遍在する、広くあまねく存在する」という意味
 - ・もともとの英語の Ubiquitous は、Ubiquitous Mosquito といった具合に好まない対象、すなわちマイナスのイメージに利用するが. . .
- ・ユビキタスコンピューティングは将来のコンピューティング環境のあるべき姿として1988年頃に考案された概念
- ・ユビキタスコンピューティングは「無数のコンピュータがあちこちに存在する」ことを当然の前提とする
 - ・ユビキタスコンピューティングが他のコンピューティング概念と決定的に異なるのは「不可視性」（コンピュータがどのように使われているかがユーザから見えない）である
 - ・センサネットワークは、特に不可視性はこだわらず、センサがメイン





ユビキタスコンピューティング(1/2)

6

- Microsoft Easy Living

- ユーザ行動解析
- 地理モデルの利用
- 自動センサキャリブレーション
- 細粒度イベント・適合処理
- デバイス非依存通信



- 東京大学 STONEルーム

- ユビキタス環境実験室
- STONEはミドルウェアで
- ネーミングによりデバイスを指定できる
 - 例えば、人に画像を見せたいとき、ファイルのある人に見せると表現と表現すれば、システムがその人に最も近いデバイスを選定し表示する





ユビキタスコンピューティング(2/2)

- ・ジョージア工科大学 Aware Home
 - ・複数カメラで人の場所を特定・RFIDの利用



- ・慶應義塾大学 Smart Space Lab
 - ・PCやPDAといった人間が手元で使用する情報環境に加えて、目に見えないところに埋め込まれた計算機が互いに協調することで知的処理を可能とする場





センサネットワーク応用

- 医療・健康
 - どこにいても健康管理を行う
 - 異常があった場合はGPSなどにより場所を特定医療機関に通知する
- 防犯・セキュリティ
 - 異常を検知した場合は、ブザーや投光器、カメラなどを制御
 - 異常を電子メールなどで管理者に通知
- 防災
 - 災害発生時に通信インフラが利用できなった場合にアドホックネットワークを構築する
 - 被害状況をモニタリングする
 - 被災者を安全な場所に誘導する
- 環境リスクへの対応
 - NO_x, SO_xモニタリング



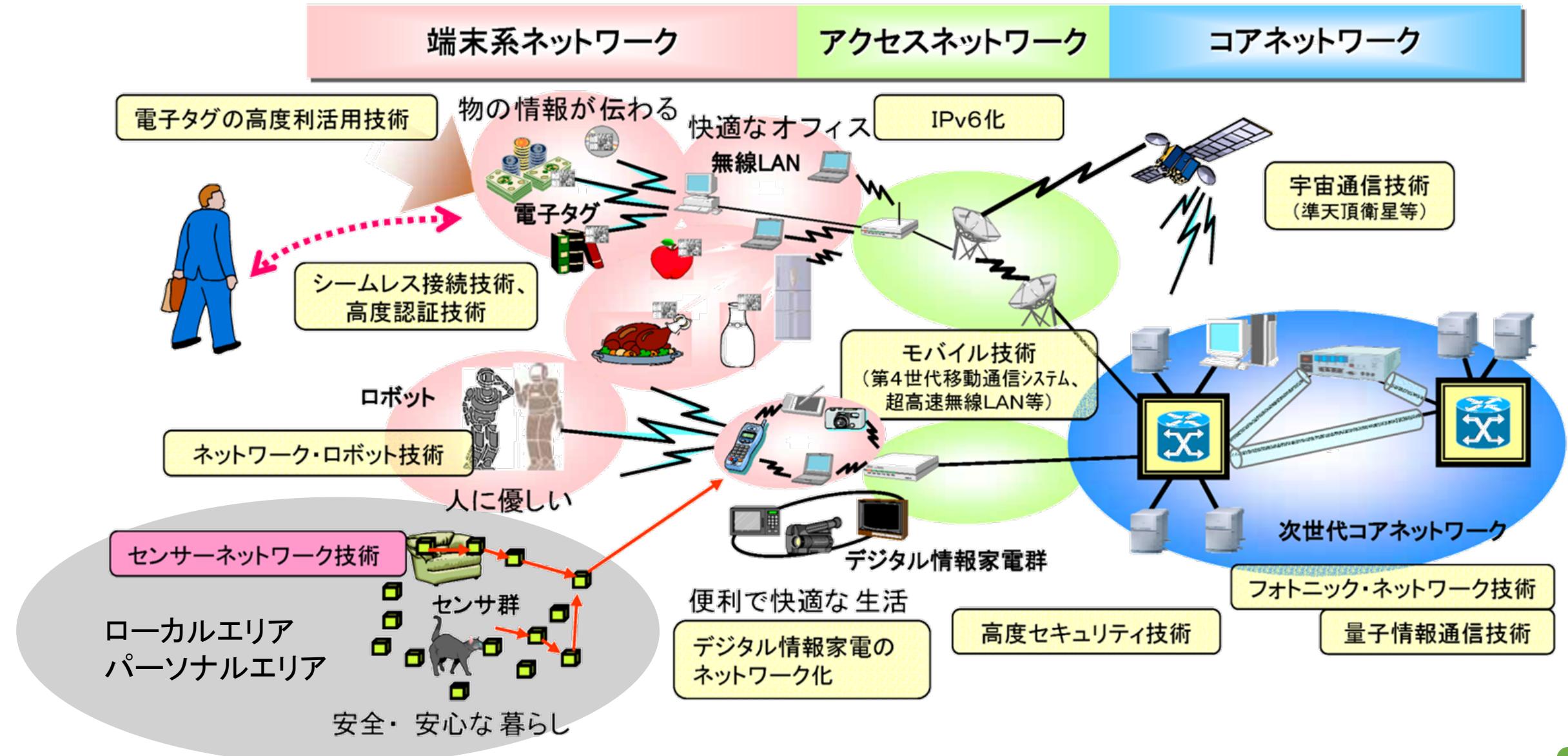


- 農作物など生産過程把握
 - 農作物の育成環境をモニタリングし、肥料・農薬・収穫の最適な時期や量を指南
 - 流通システムと融合することで生産性と収益率を向上させる
- 流通管理
 - 物品の保管状況を監視し、異常発生時に通知する
 - トレーサビリティを高める
- 構造物劣化監視
 - 橋梁やビルなどの構造物について振動・ゆるみ・亀裂・ひずみを検出し補強を促す
 - 免震・制震
- その他
 - ビル内の状態を監視し設備を最適に制御する
 - 道路交通制御（渋滞緩和・環境改善・緊急車両優先）を行う



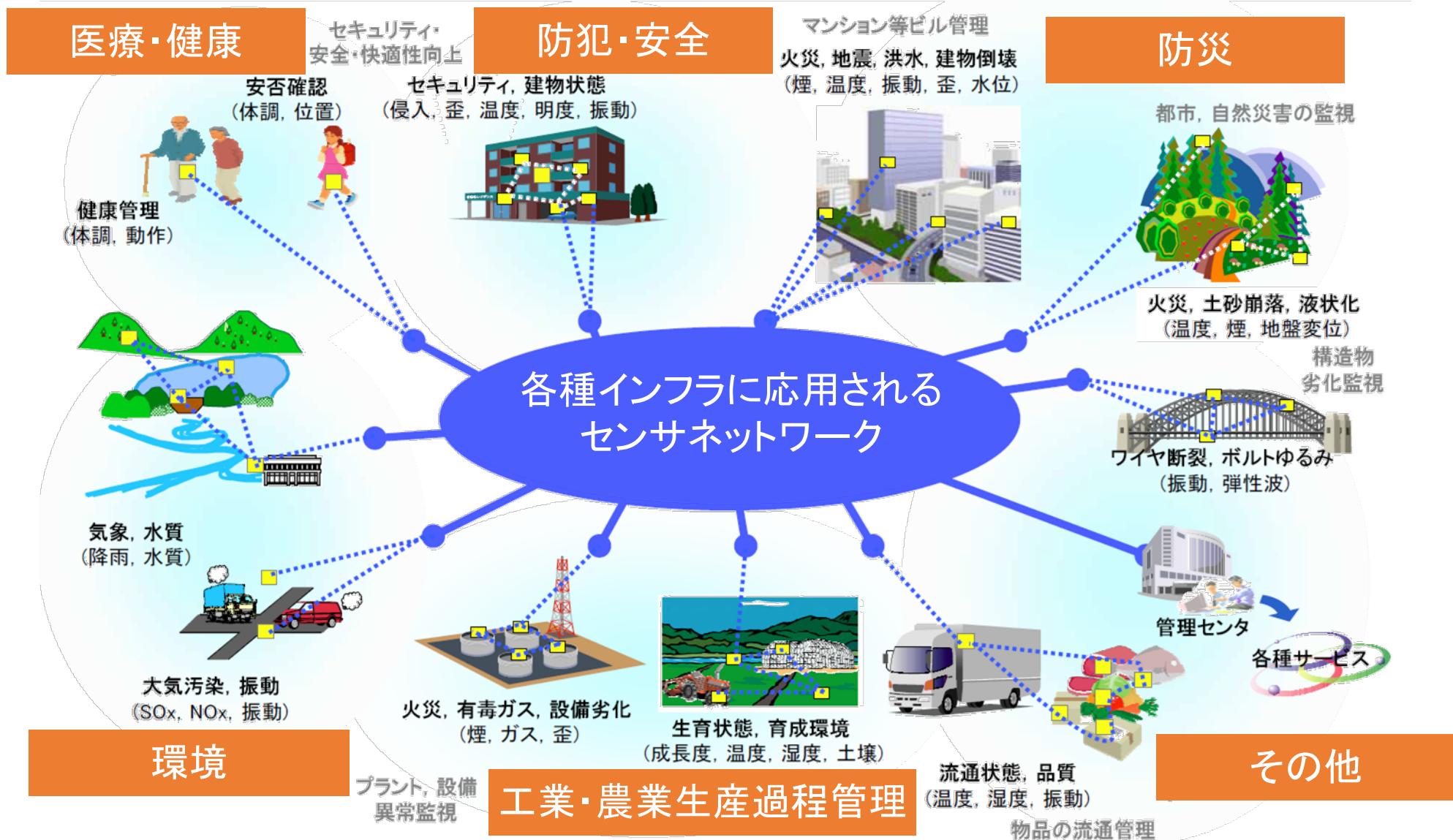
センサネットワーク技術の位置づけ

10



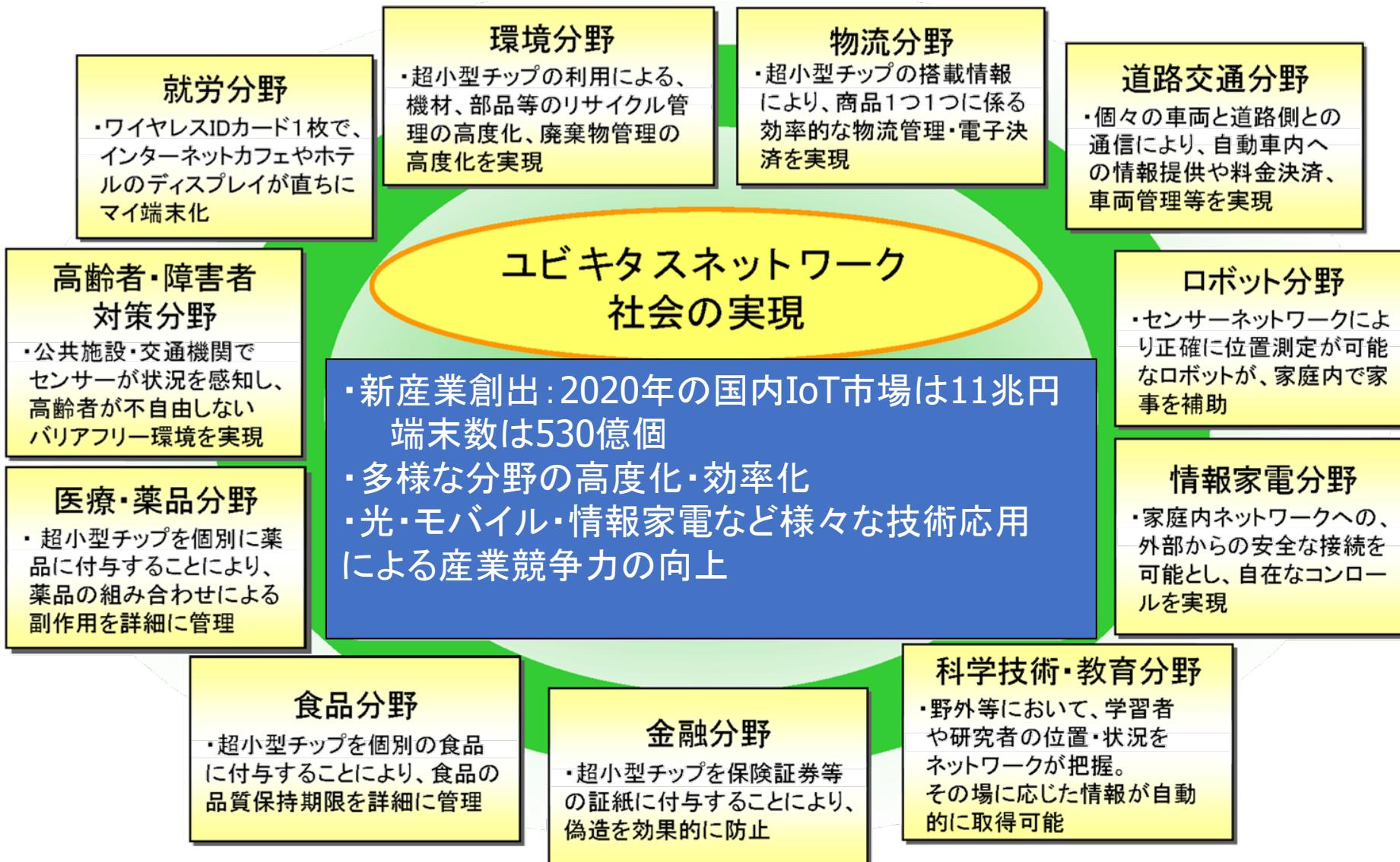
おもなセンサネットワークの用途

11

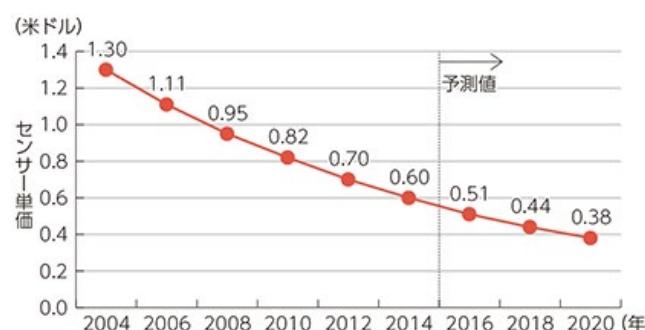


ユビキタスネットワークの社会応用例

12



Gartner「Gartner Says 4.9 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2015」



Business Intelligence「THE INTERNET OF EVERYTHING: 2015」(2014年12月)



センサネットワーク応用に必要な要件

13

- どこでも設置
 - 電源コンセントや通信環境がない場所、埃・風雨・氷雪等にさらされる場所でも設置できる
 - 長時間バッテリ駆動を可能とする低消費電力、環境エネルギー利用による自己発電が必要
 - 電波は経路上にある物体の影響を受けやすいため、伝搬特性評価・解析技術とともにアドホックネットワークや高信頼通信技術が必要
 - 密閉技術、温度保障技術などパッケージング技術が必要
- 誰でも利用
 - 電気・水道・ガスの利用と同じ感覚で情報処理に接していない誰でもが使える
 - ネットワークアドレスやネットワーク経路などネットワークに関わる一切の設定を不要にする
 - ノード設置場所情報の設定を不要にする位置同定、時刻同期技術が必要
 - ノードの動作状況管理や、故障の自動検出と通知、さらには継続動作させる技術が必要
- 要するに「可用性」の向上





アドホックネットワーク

14

- 位置の特定されていない、また追加消滅の可能性があるノード群を扱う
 - 移動ノードに対応
 - 環境により通信状況が変化する場合にも適用可能
 - 通信外乱による影響の隠ぺいや、延命に利用可能
- 経路制御プロトコルが重要な技術要素となる
 - 通信を始める前に経路を決定するリアクティブ型プロトコル
 - 定期的な情報交換により経路を決定するプロアクティブ型プロトコル
 - リアクティブかプロアクティブかは、ルーティングプロトコルをいつ交換するかが本質的な違いであり、経路決定手順の違いではない
 - なお、通常のイーサネット環境においても、RIP、OSPF、BGP、ISISなど、数多くのルーティングプロトコルが存在するが、アドホックネットワークではなく、耐故障性や通信バンド幅獲得、デッドロック回避のためのアダプティブルーティングである





センサネットワーク応用に必要な要件

15

- システム連携
 - 既存のIPネットワークとの連携や、センサネットワーク同士を自律的に連携させスケーラブルにシステムを拡張可能とすることが求められる
 - ゲートウェイ技術が必要、ただし誰でも利用できるという要求も含めて、セキュリティ問題とのトレードオフとなる
 - 既存ネットワークを利用して複数のセンサネットワークがあたかも一つの大きなセンサネットワークとして扱うことができる仮想化技術が必要
- 既存ネットワークが備えるべき特徴を有した上でより高い要求がある
 - スループットについては、一般のネットワークよりも寛容
 - 省電力に対しての要求ハードルが極めて高い場合がある
 - アドホックネットワークの構築など、独特なネットワーク管理が求められる場合がある





センサネットワークのはじまり

16

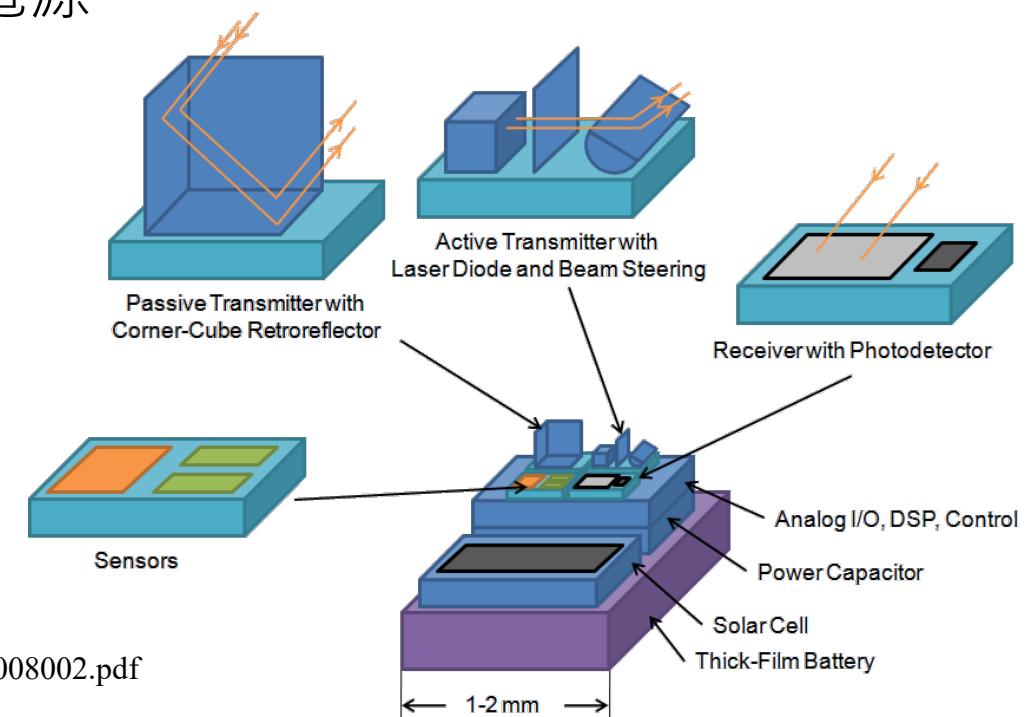
- 1999年DARPAによるマイクロ電子機械システム(MEMS:Micro Electromechanical System)によるスマートダストプロジェクトに端を発する
 - 体積 $1.5mm^3$ 以下、重さ $5mg$ 以下で演算処理、センシング、通信、電源を混載した超小型センサネットワークデバイスをMEMSで構成するというプロジェクト
 - 結局のところ、当初の目標をクリアするデバイスは提案されなかった
- 一方で、軍需を含めさまざまな応用が提案された
 - ユビキタスコンピューティングといった計算機科学的な概念
 - デバイス技術 (MEMS) 、無線・有線ネットワークにおける活発な議論
- 
- センサネットワーク研究に火がついた





プラットフォーム開発の歴史

- スマートダスト : DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)
 - 体積 $< 1.5\text{mm}^3$
 - 重さ $< 5\text{mg}$
 - 演算処理機能、センシング機能、通信機能、電源
 - MEMS技術で実現
- Ad-hoc ネットワークの実用的な応用先
 - 無線センサネットワーク
 - コンセプトレベルの実装
 - MICA MOTE プラットフォーム



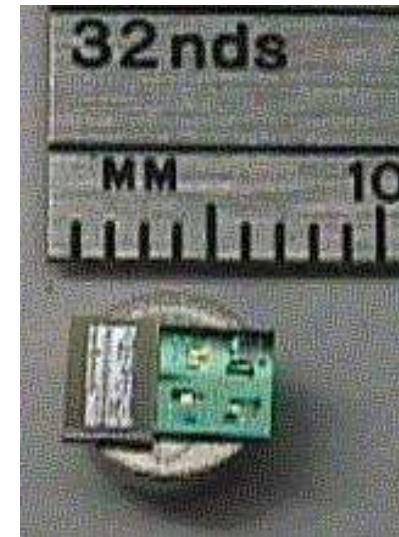
http://www.mlab.t.u-tokyo.ac.jp/attachment/file/113/moritech_2008002.pdf





Smart Dustのその後

- より現実的な観点からCOTS Dustと呼ばれるプラットフォーム開発がおこなわれた
 - DARPAのNEST(Network Embedded Software Technology)プロジェクトにより MICA MOTEとして一般販売されるに至った
- センサネットワークのプラットフォーム入手が容易になった
 - 様々な応用が進む過程において、分散処理、電源、環境配慮など問題点も明らかになり、これらの課題を克服するための研究開発が継続して行われている





RF Mote

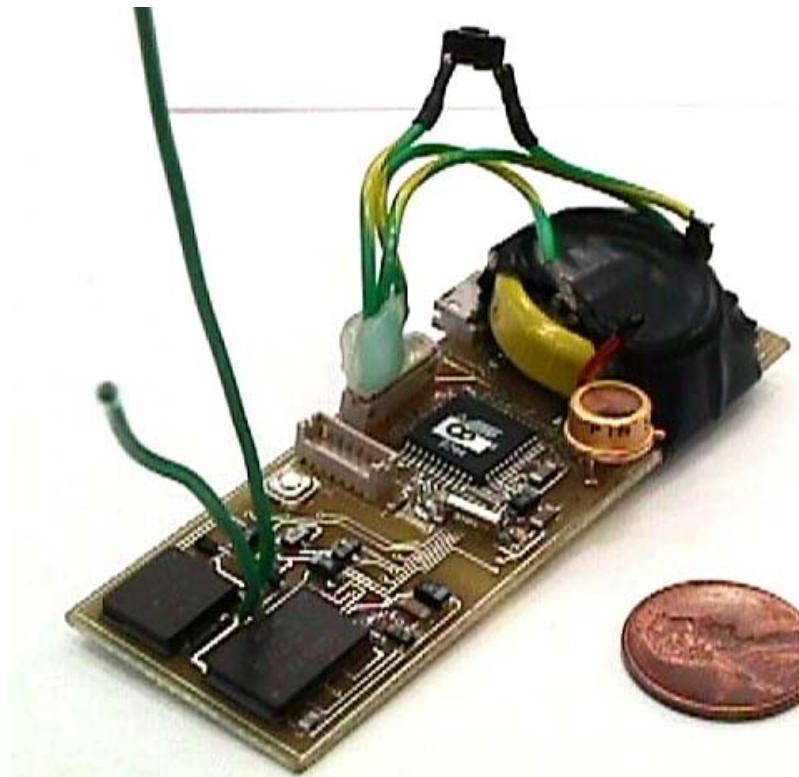
Large Scale Models for Smart Dust

RF 916.5MHz OOK

5kbps 20 meter range

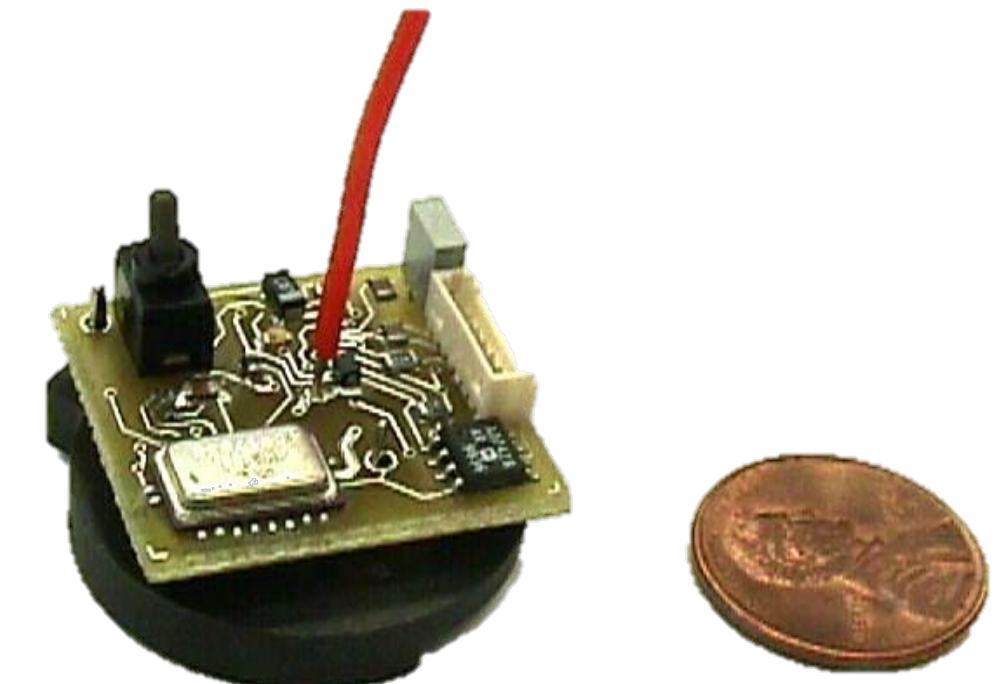
Sensors: 2 axis magnetometers,

2 axis accelerometers, light, temperature, pressure



Mini Mote

19



RF 916.5MHz 10kbps 20 meter range
Sensors: temperature
A miniaturized version of the RF Mote





Laser Mote

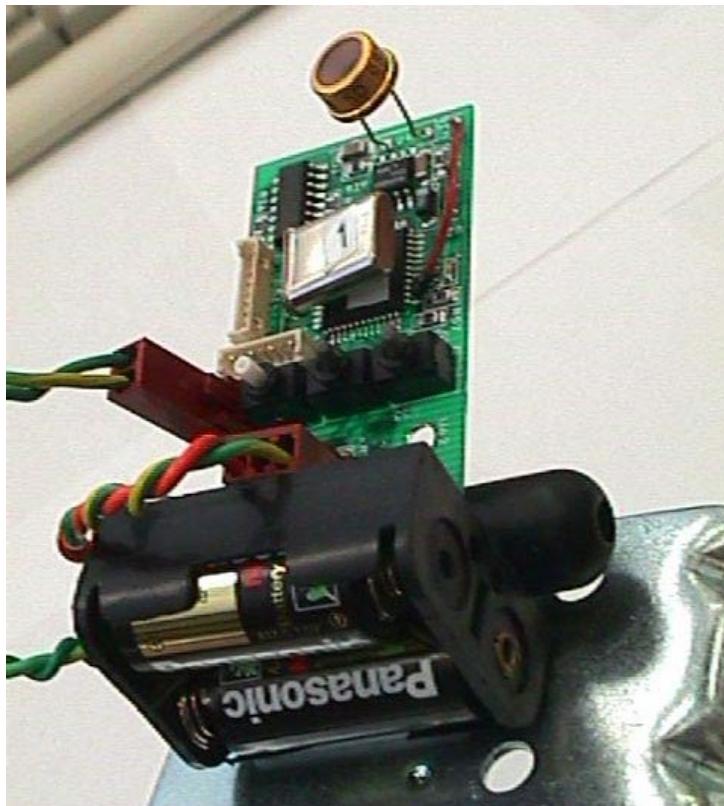
Laser Module: 3 mW optical transmission

150mW electrical power

10 km range

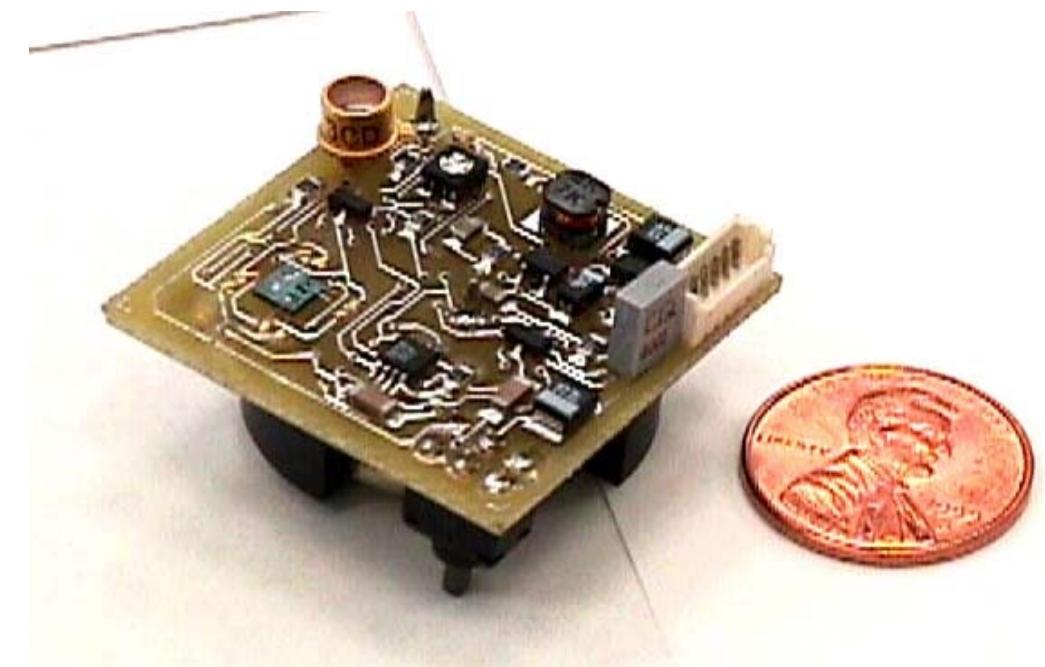
Sensors: temperature, light, pressure, humidity

Demonstrated 21 km one-way communication



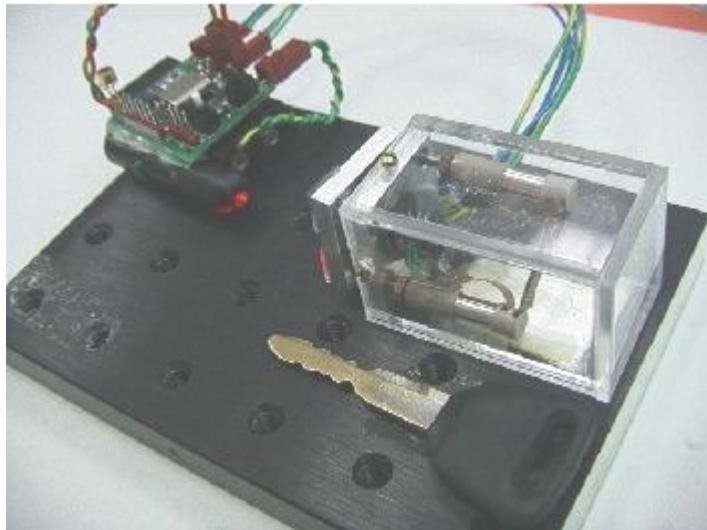
CCR Mote

20



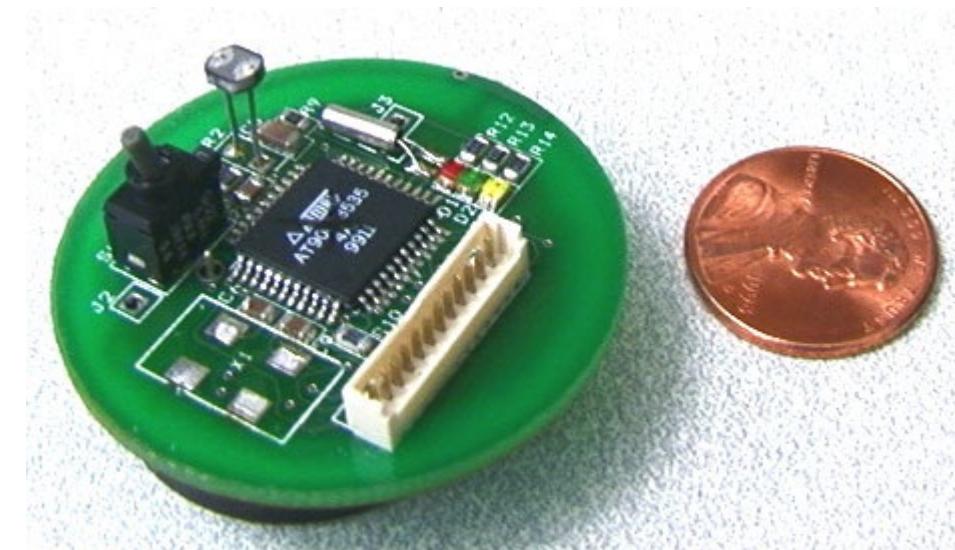
Corner Cube Reflector/Light Receiver Communication
Sensors: temperature
MEMS device for passive laser communications.



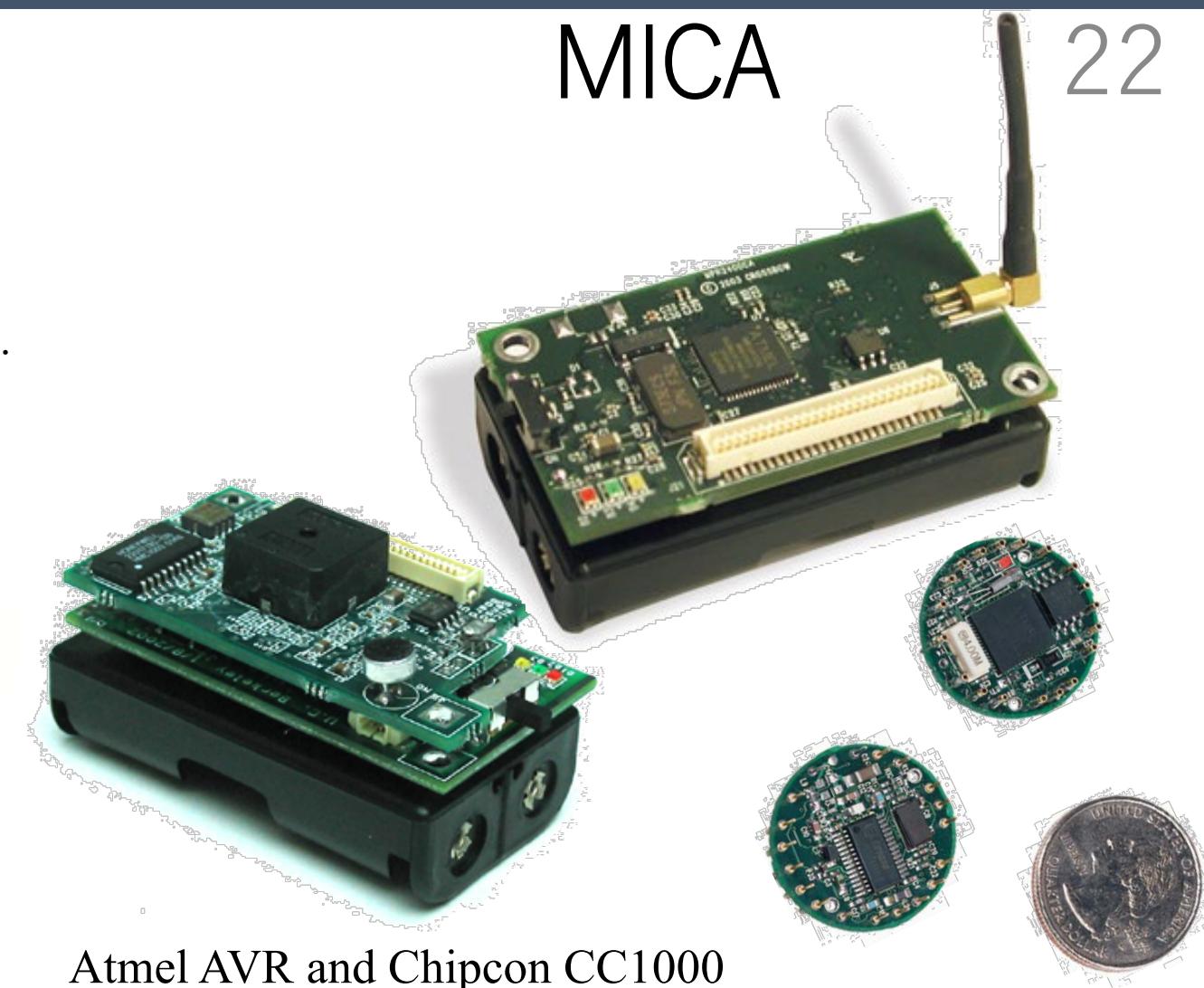
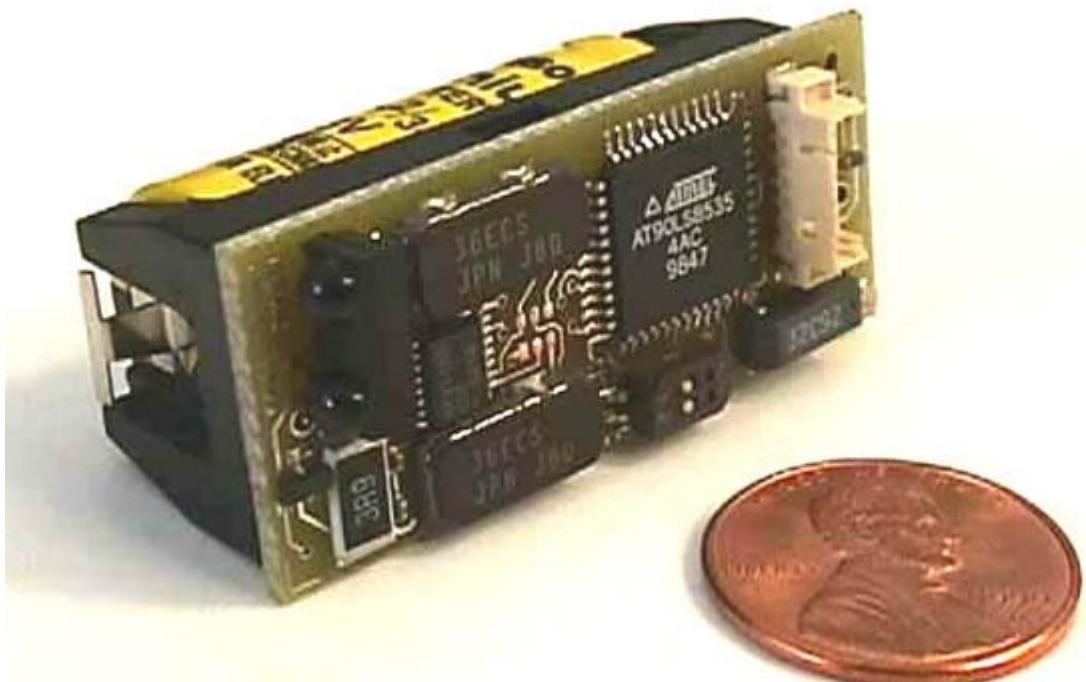


Steerable Laser Beam
Communication with integrated
CCD camera
Sensors: light

RF 916.5 MHz
10kbps 20meter range
Sensors: light, temperature
The next revision of the Mini Mote
Wireless reprogramming



IrDA communication
Sensors: temperature
Interface with other IrDA compliant devices (ex. Palm Pilot).



Atmel AVR and Chipcon CC1000
433, 868/916, or 310 MHz multi-channel Wireless
Light, temperature, RH, barometric pressure,
acceleration/seismic, acoustic, magnetic, GPS, and others
Battery AA x 2



最終的には

23

Spec Mote:

2mmx2.5mm, AVR-like RISC core,

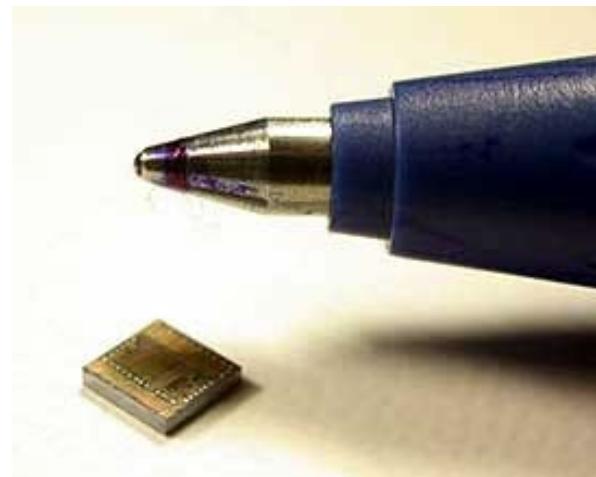
3K of memory, 8 bit On-chip ADC

FSK radio transmitter, Paged memory system

SPI programming interface,

RS232 compatible UART,

4-bit input port, 4-bit output port



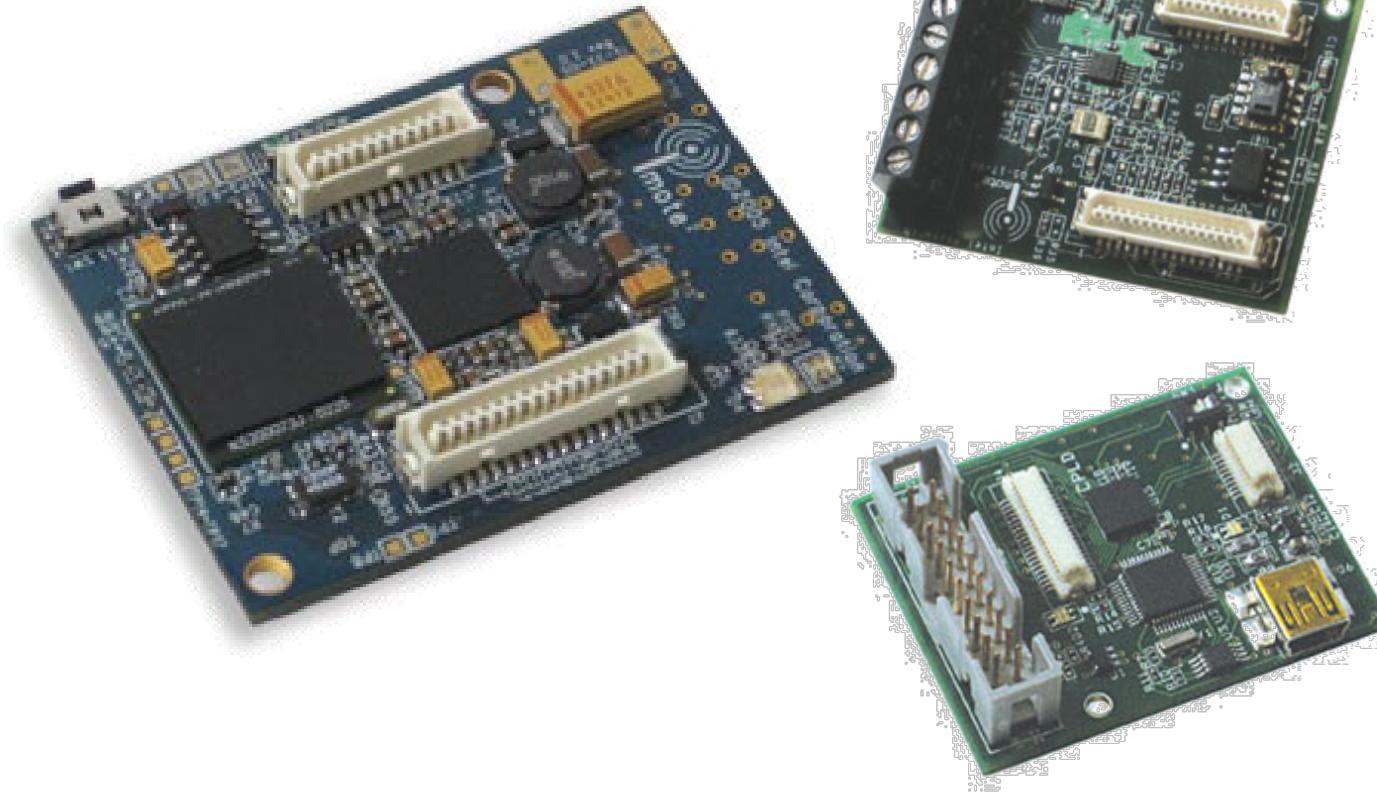
Btnode:

Atmel AVR, Bluetooth and aChipcon CC1000 radio

Mica2 Mote with more SRAM (256K) and an additional Bluetooth radio.



Imote2 :
PXA271 Xscale Processor
802.15.4 radio (CC2420) with a built-in
2.4GHz antenna
USB Client With On-board mini-B



Tmote Sky (Telos B):
TI MSP430F1611
10k SRAM, 48k Flash + 1024k serial storage
250kbps 2.4 GHz Chipcon CC2420
IEEE 802.15.4 Wireless Transceiver
On-board humidity, temperature and light sensors
Fast wakeup from sleep (<6usec)
Programming and interface via USB



MICAシリーズ

25

型名	MICAz (MPR2400J)	MICA2 (MPR420)	MICA2DOT (MPR520)
マイクロプロセッサ	CPU	Atmel ATMega128L(Active 8mA/Sleep 15uA)	
	クロック周波数	7.37MHz	4MHz
	プログラムフラッシュメモリ	128kbytes	
	SRAM	4kbytes	
拡張インターフェース	Bit幅(pin数)	51	19
	A/Dコンバータ	10bit	
	UART	2	1
	その他インターフェース	DIO, I2C	DIO, I2C(emu.)
無線通信モジュール	型式(送信/受信消費電力)	CC2420(20/18)	CC1000(8mA/5mA)
	無線周波数	2400MHz	315MHz
	スループット	250kbps	38.4kbps
ログ用フラッシュメモリ	容量	512kbytes	
電源	種類	単三電池2ヶ	CR2354



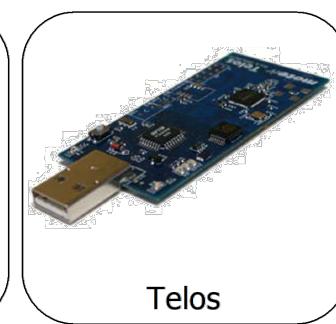


MICAシリーズ

- MICAシリーズの基本構成
 - センサ
 - 観測対象に応じて各種センサを搭載
 - マイクロコントローラ
 - PICやAVRなどを搭載
 - 通信デバイス
 - 一般的に無線を採用（特定小電力やZigBeeなど）
- 現在は
 - センサ
 - より多様なセンサが大量に採用される
 - マイクロコントローラ
 - ARMなどより汎用なプロセッサを採用する例もある
 - 通信デバイス
 - BLEなどより多様化



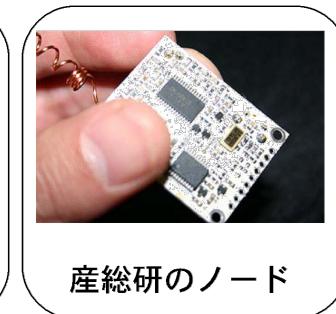
MICA2 Mote



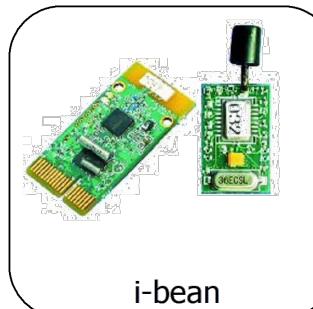
Telos



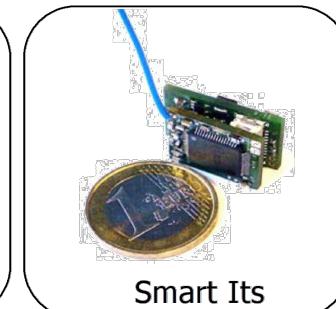
Ni3



産総研のノード



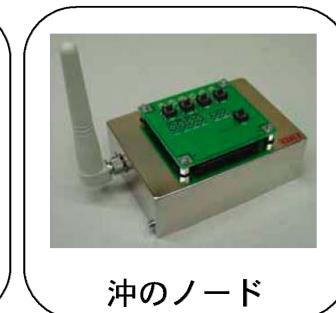
i-bean



Smart Its



三菱のノード



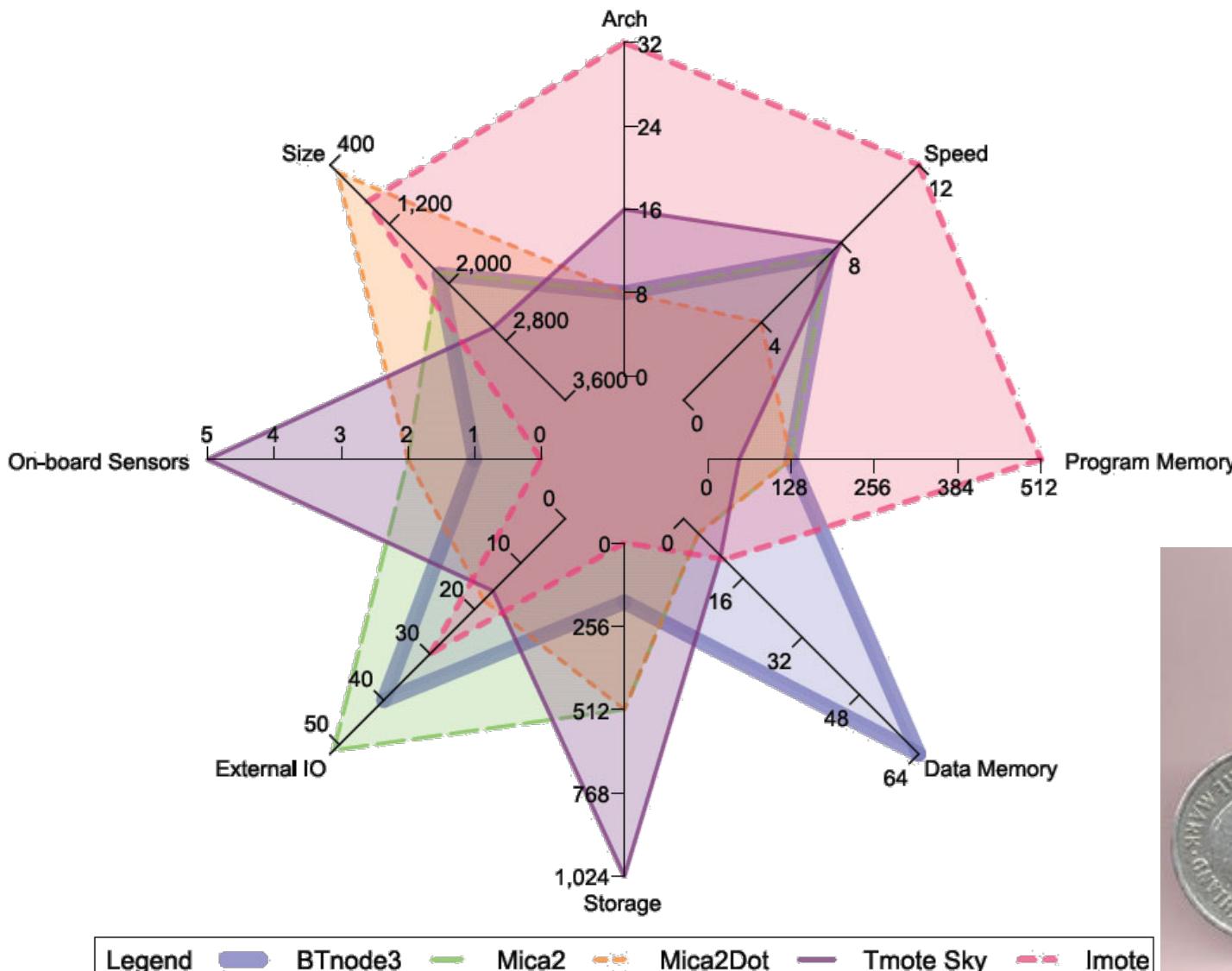
沖のノード



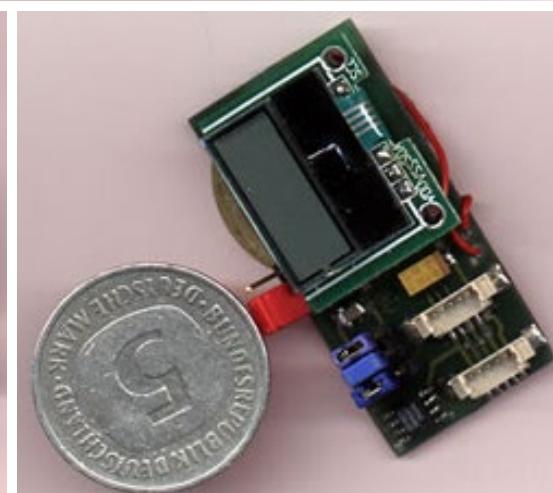
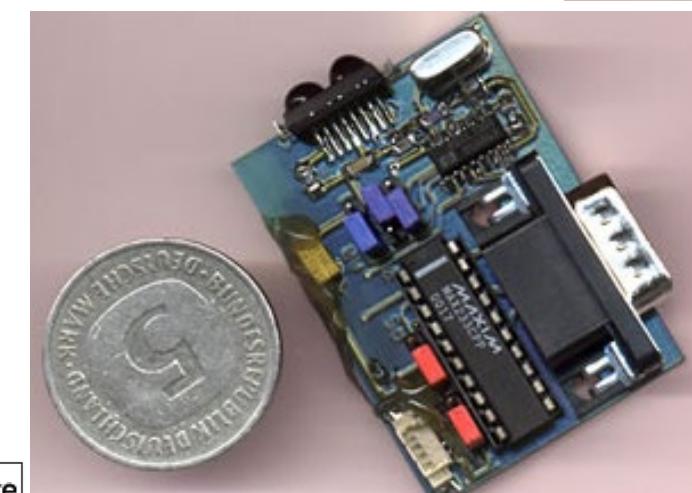
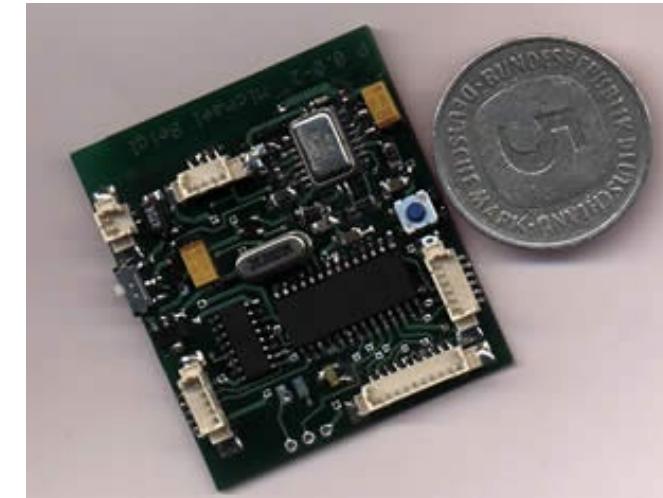


MICAの比較

27



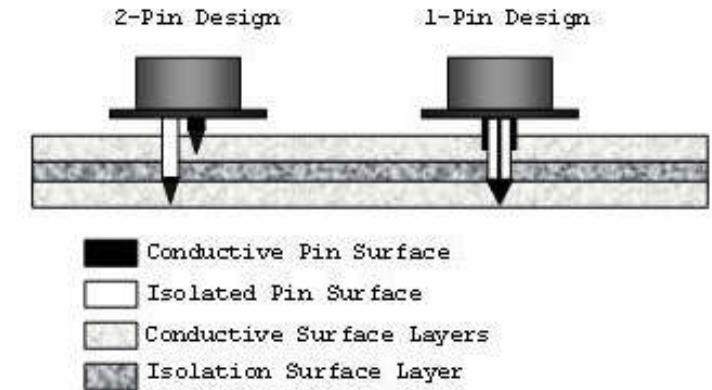
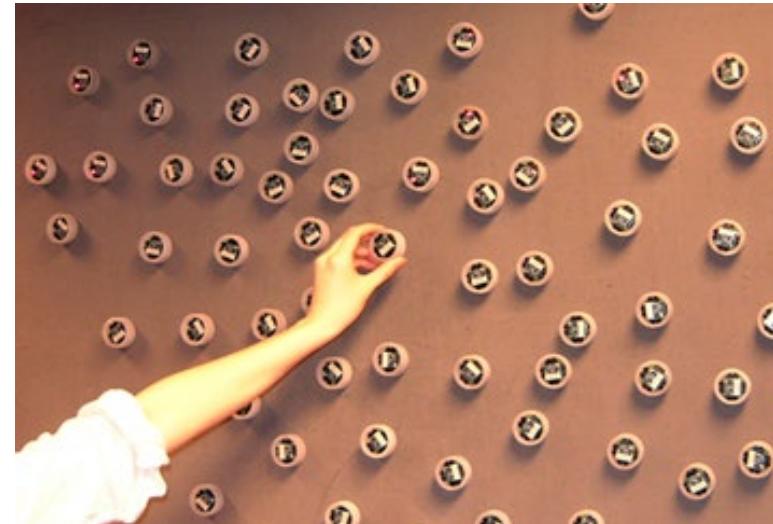
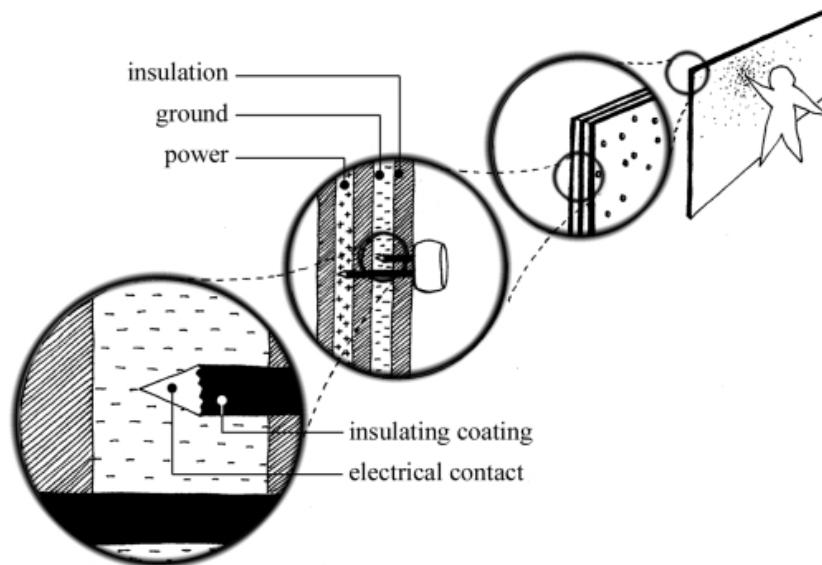
欧洲における研究例





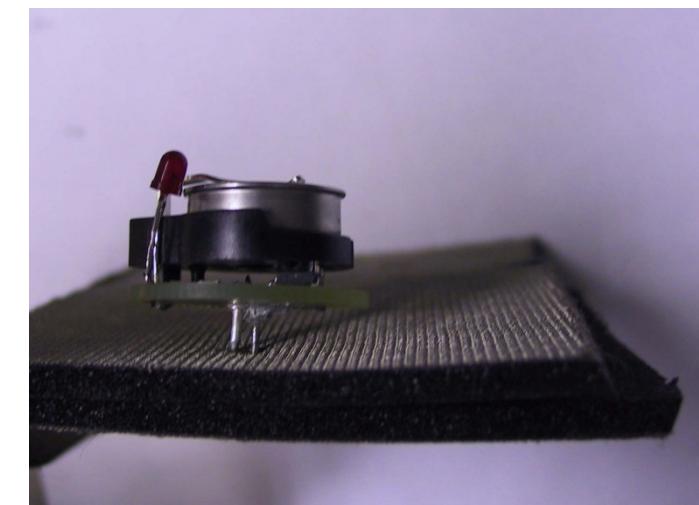
PushPin Computing

28



The Pushpins themselves are comprised of three stacked circuit boards; one each for communication, processing, and sensing. The communication layer features infrared transceivers that enable a Pushpin to communicate to adjacent Pushpins within a radius of roughly 10 centimeters. The core of the pushpin, the processing layer, contains a mixed analog/digital 8-bit micro-controller from Silicon Laboratories (previously Cygnal Systems) running at 22 MIPS.

<http://www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/2002-09-PushpinPervasiveWF.pdf>





- 背景

- センサネットプロトコル研究の飽和
- アプリからのフィードバック・民生領域
- テストベッドが必要

- 目標

- センサネットの各種プロトコルの実験や実空間情報を使ったアプリを簡単に作成できること

- アプローチ

- MICAとの親和性
- 外観デザインも重視
- 通信／演算／センサを分離
- 通信のレイヤ構造を明確化
- TinyOSとのメッセージレベル互換

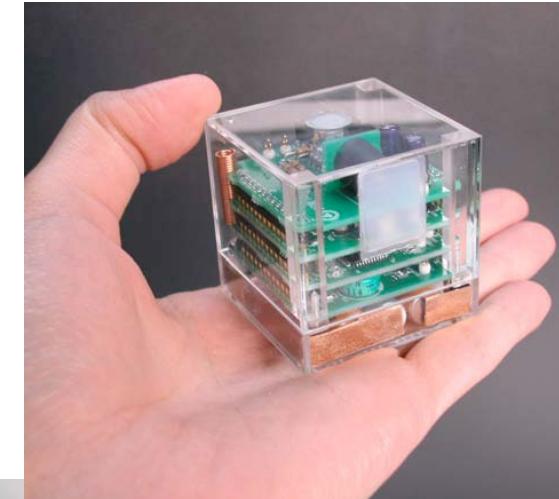
Microchip PIC18F452 20MHz x 2

ROM 16Kwords/RAM 1.5KB

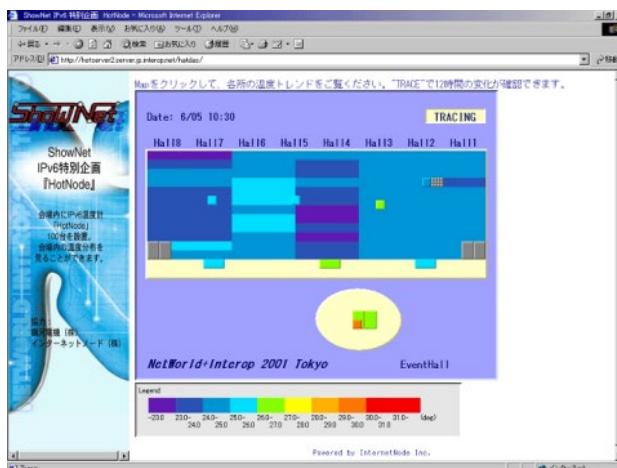
115Kbps RF-Module, IrDA1.1

UM4 and Solar Cell

I2C, A/D DIO, RTC



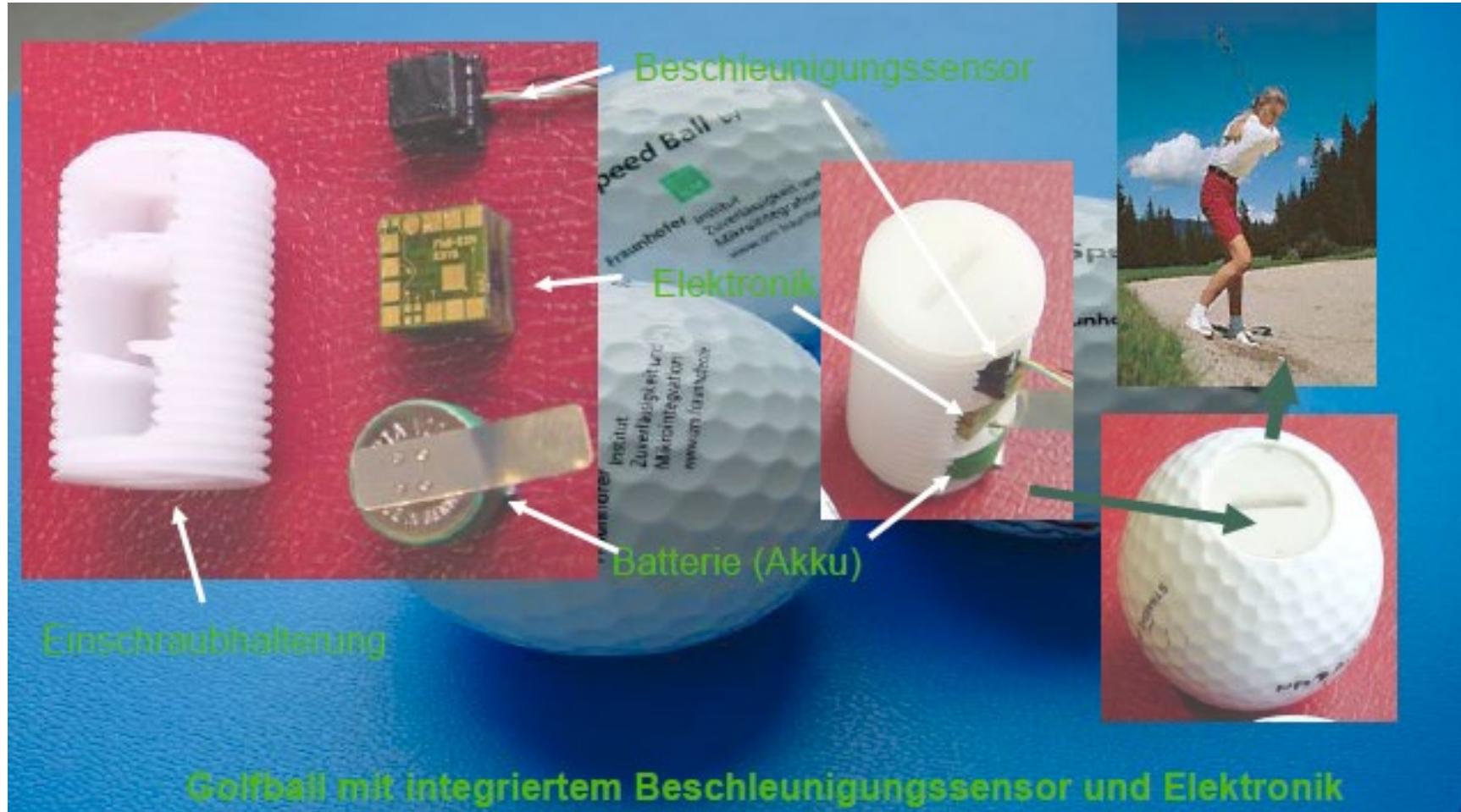
- 温度センサ内蔵マイクロノード
- IPv6対応、WEBサーバ搭載
- Power Over Ethernet対応



- Sun Small Programmable Object Technology
 - CPU上でJavaを直接実行する無線センサー・アプリケーション構築デバイス
 - 物理デバイス制御のためのJava学習プラットフォーム
- 緒言
 - 41 x 23 x 70 mm、54 グラム
 - 180 MHz 32 bit ARM920T 512K RAM/4M フラッシュ
 - 2.4 GHz IEEE 802.15.4 (ZigBee)
 - USB interface
 - スリープ時32 uA
 - センサ：2G/6G 3軸加速度センサ、温度センサ、光センサ

そしてとうとうゴルフボールになる

31





そして行き着くところまで行ってしまう

32

日産、“確実にカップインするゴルフボール”
「ProPILOT GOLF
BALL」体験会
2019年9月1日まで日産
グローバル本社ギャラ
リーで開催



日産が「確実に入るゴルフボール」開発 每日新聞2019年8月29日 17時24分



- 米国
 - 科学技術振興政策NITRDにより各省庁・機関が連携し、センサネットワークに関する研究が実施された
- 欧州
 - FP6(=6th Framework Program)でIST(=Information Society and Technologies)を推進、Disappearing Computer、Ambient Networksに関する研究が行われた

プロジェクト名	開発国	センシング対象	センシング	利用範囲	通信方式
Wi-Fi店内マーケティング	独(米開発)	買い物客	インフラ側	店内	IEEE802.11
Sentient Computing	英	タグ(保有者)	インフラ側	オフィス内	超音波
Ubisense	英	タグ(保有者)	インフラ側	屋内	UWBなど
MediaCup	独	コーヒーカップ(利用者)	センシング対象側	屋内	赤外線
IntelliBadge	米	タグ(保有者)	センシング対象側	屋内会議場	アクティブRFID
Sensimesh Software	米	取付対象に依存	センシング対象側	屋内	アドホック
SmartDust	米	照度、温度	センシング対象側	屋内や屋外	狭域通信
Sensor Web	米	環境(照度、温度、湿度等)	センシング対象側	屋内や屋外	無線





可視光通信

応用分野

照明通信:

LED照明への移行

ユビキタス通信:

情報収集/情報サービス、「光タグ」

ITS通信:

交通信号ランプ、車のライト

ホームネットワーク:

電力線搬送通信、POFとの組み合わせ

レンジフリーによる位置同定が可能



LED照明

慶應大学・松下電工・NEC



受光器付き携帯電話



宇宙開発向けデモ機-ビデオデータ送信機
<http://www.vlcc.net/about.html>



交通信号機による可視光通信システム
名古屋工業大学：日本信号(株)



視覚障害者用ナビゲーションシステム



国土交通省関西空港実験



NTSC-TV画像を可視光伝送
する場内監視システム



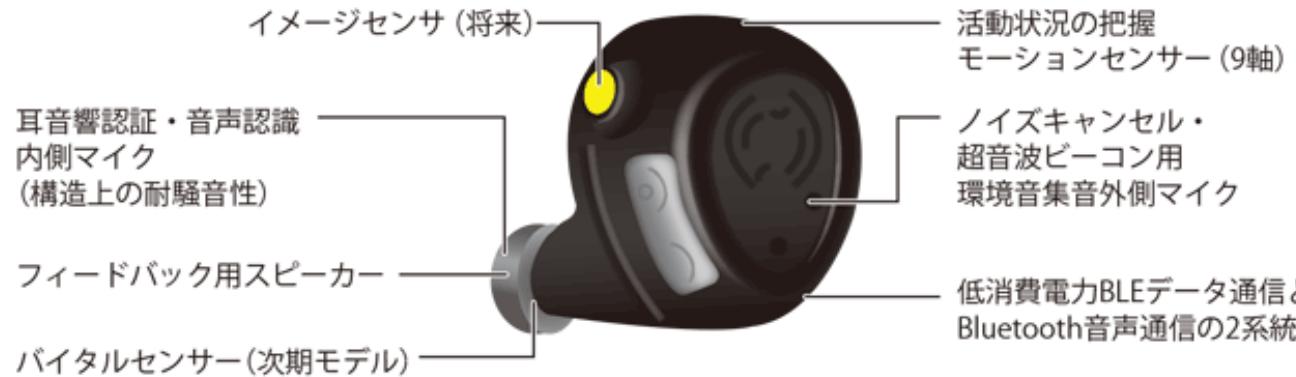


ヒアラブルデバイス

35

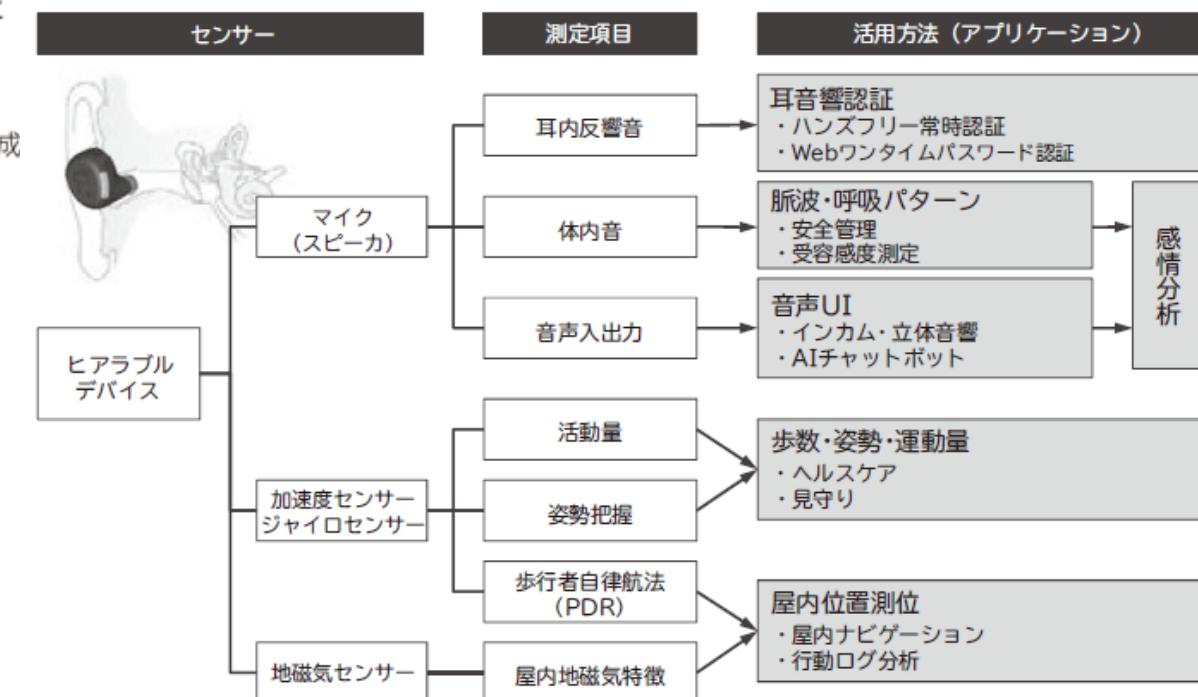
ヒアラブル(センサー)HW一覧

※主な処理はエッジとクラウド側で分散協調処理



磁界センサによるパターンマッチングと
加速度センサによる位置同定

出典：NEC資料を基に作成



NEC岡山様より



Bluetooth®を採用

コイン電池で長寿命稼働を実現
全センサを1分毎で測定した場合の
電池寿命は約1年

モーションデータとともに、気圧、温度・湿度、照度などの環境データを取得。

低消費電力通信のBluetooth®で通信を行う

センサネットワークモジュールです。幅広い業務でIoTを手軽に実現できます。



マイコンを搭載

きめ細かなセンサ制御を実現、
低消費電力にも貢献



多彩なセンサを搭載

気圧センサ
温湿度センサ
UV/照度センサ
6軸センサ
(加速度センサ)

小型内蔵モジュール

高密度実装で
18.5mm×5.6mm×3.4mmを実現
ウェアラブル用途にも最適

【使い方】

- ①タブレットに付属アプリをインストール



- ②製品のスイッチをONにする



- ③タブレットに測定データを表示



- ④アプリからセンサ/通信の設定が変更可能



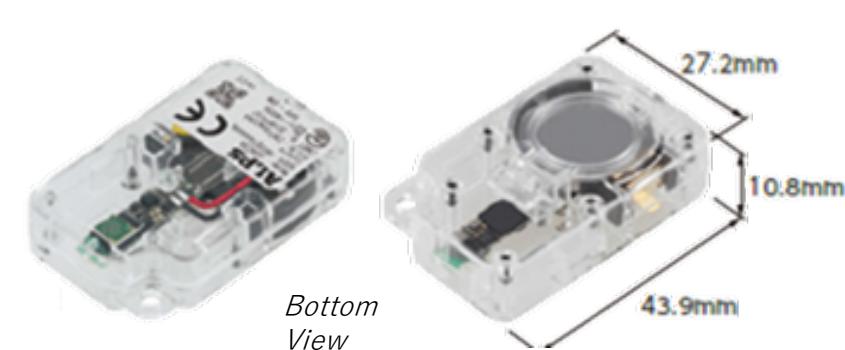
多彩な
用途開発に
最適



ALPS IoT Sensor Bluetooth Sensor Module

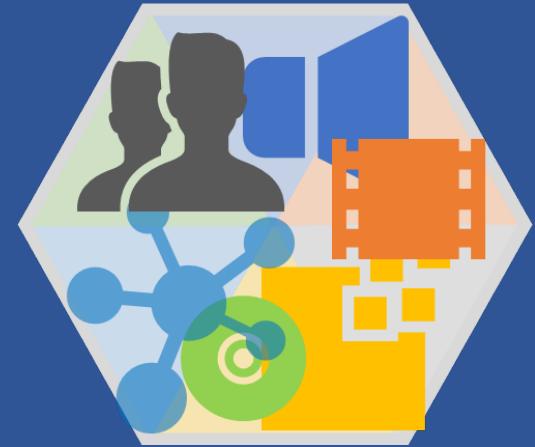
37

- ALPS IoT Sensor (BLE)
 - Power 2.35-3.30V 7mA(Peak)
 - Bluetooth 4.1
 - Sensors:
 - 6D Acceleration Sensor (-2G – 2G extendable)
 - Pressure Sensor (300-1100hPa, 0.013hPa/LSB)
 - Temperature (-20 - +85 C, 0.02 C/LSB)
 - Humidity (0 – 100%, 0.016%/LSB)
 - UV (0 - 20.48mW/cm²)
 - Illuminance (0 – 81900Lx, 20Lx/LSB)



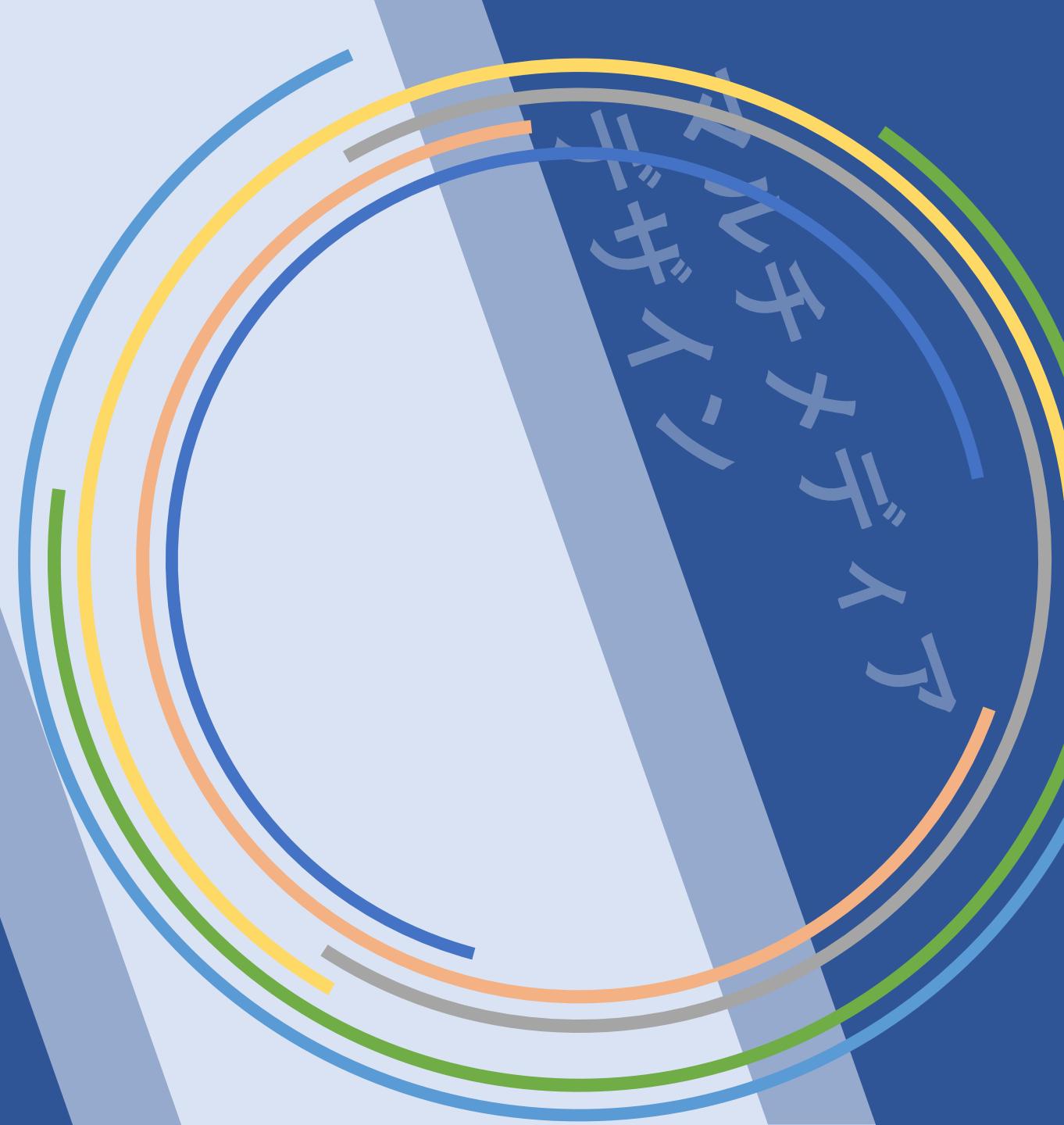
この授業のスライドはkeio.jpで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ

<https://keio-st-multimedia.slack.com>



#3 アプリケーション

担当： 西 宏章





農業応用とフィールドサーバ

40



- 台風や砂漠等過酷な気候に耐える耐候性
- 気温・湿度・日射量・土壤水分・葉の濡れ・紫外線・CO₂など多数のセンサ
- ネットワークカメラ
- データ表示・遠隔制御するWebサーバ内蔵
- 無線LANでインターネットに接続(通信可能距離は3kmまで)
- Wi-FiメッッシュネットワークまたはWDSによる中継機能で地域全体をユビキタス化
- いつでもどこでもインターネットを無料で利用可能(フリースポット化)
- 低価格



Image-Viewer Data-Viewer

41

誰でもネットで生産過程を見ることができる

NetCamera - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(U) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

アドレス(D) http://cse.naro.affrc.go.jp/ketanaka/model/applet/NetCameraViewer.html 移動 リンク > Norton Internet Security

フィールドサーバ [日本, 福島県国見町 桃農家(佐野農園) NetCamera11] 地図表示

再生期間
開始 2005 年 8 月 16 日 撮影期間 2003/05/15 -
終了 2005 年 8 月 22 日 2005/08/22

設定 100%

再生速度
再生速度 4 枚/秒 スキップ 1 枚毎表示

再生時間帯
○すべて ○昼間 ○夜間 ○特定時刻表示
○ 9 時 0 分 ~ 10 時 0 分

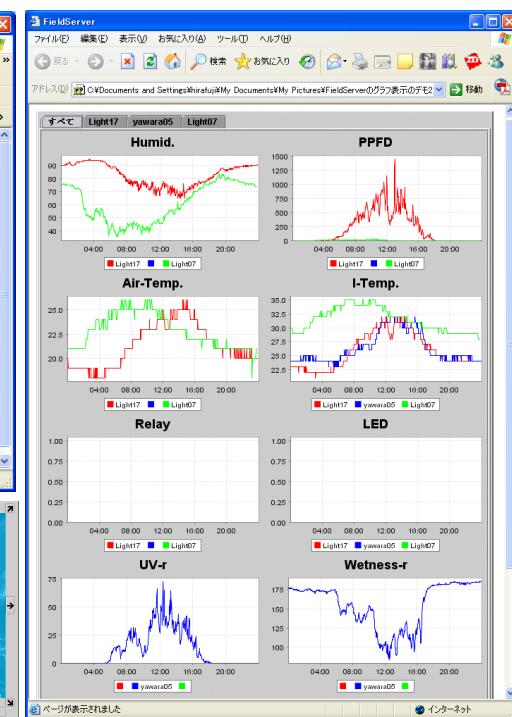
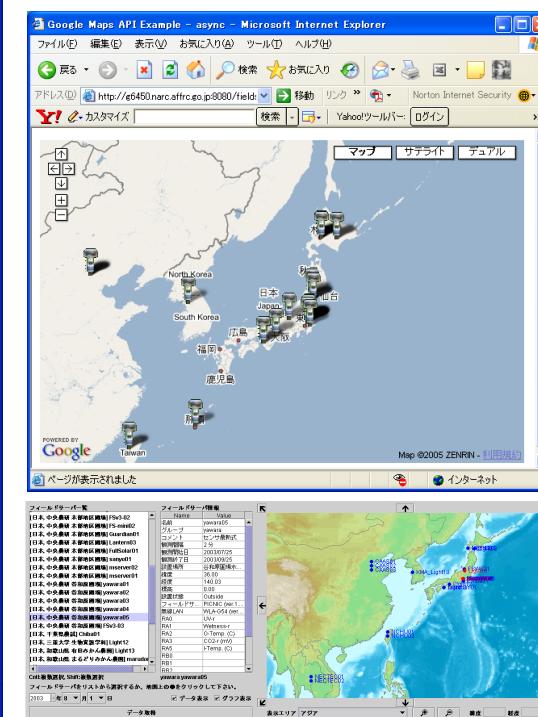
特定時刻表示
○より前の ○を中心とした
○より後の ○に近い
画像を 1 枚ずつ表示

フィールドサーバ情報

Name	Value
名前	NetCamera11
グループ	fuku
コメント	
観測間隔	5分
観測開始日	2003/05/15

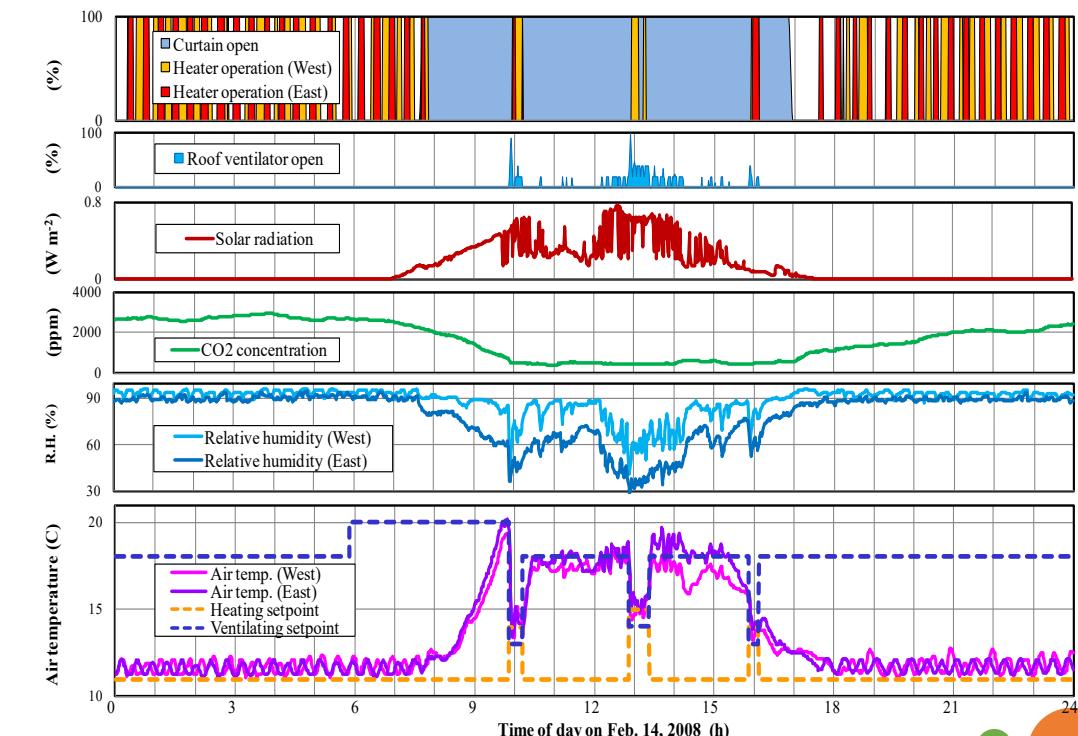
xmlファイル表示 再生 前 次 □繰り返し再生 元画像表示 1015 / 1028

アプレット net.ag.model.fieldserver.viewer.FieldServerViewerMain started インターネット



導入されているセンサの例

- 重装備温室となると様々なセンサやアクチュエータが導入される
 - 天窓と側窓開閉、カーテン・手動スイッチ・自動かん水・施肥
 - 内気象(気温・湿度・CO₂・WBGT・湿球黒球温度・日射)、CO₂、外気象(気温・湿度・風向風速・降雨・日射)、暖冷房機、細霧冷房・垂直循環扇、換気扇・ロガード
 - 茎径(4-20mA信号ノード)、自動天秤





Body Area Network

43

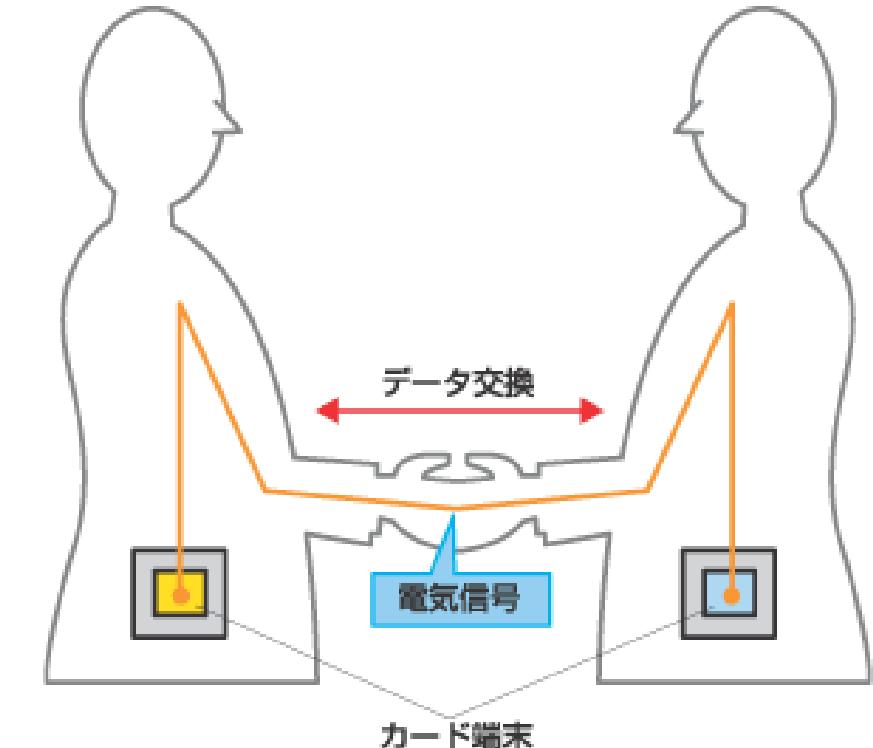
- PANの一種
- 個人の健康管理や体調管理を目的とする事例が多い
 - 「NIKE+ (ナイキプラス)」 NIKE+Apple社：靴に埋め込んだ圧力センサにより歩数をカウント
 - 「プロジェクトフェュージョン」アディダス社 & ポラール社：スポーツ心拍計をウェアに内蔵
靴には速度、距離、ピッチ、高度センサが内蔵
- 腕時計型受信機
 - Crossbow社：ZigBeeチップをフィットネスセンターへ導入、トレーニング状況をホストコンピュータへ送信
 - 沖電気工業(株)：ZigBeeを用いた生体センサノード
 - (株)日立製作所：健康リストバンド
 - Apple Watch
- 医療分野への適用を検討した例
 - 小型化かつ高精度な機器の開発：イメージセンサのCMOS化、脳波センサの小型化、データを無線通信





人体通信

- 人体をそのまま通信網として利用する
 - たとえば、握手すると情報を交換する
 - 身に着けている通信機器間で通信する（特にヘルスデータ）
 - プライバシーへの配慮





センサネットによるConsistency と Traceability 45

- Consistency
 - 様々な分野で利用される用語
 - 計算機業界では管理している情報の一貫性
 - センサネットワークでは多様性を保ちつつ広い範囲でシステム全体の一貫性や整合性を維持すること
- Traceability
 - 物流過程を捕捉可能とする意味
 - 物流における情報と物の一体化したConsistencyの維持

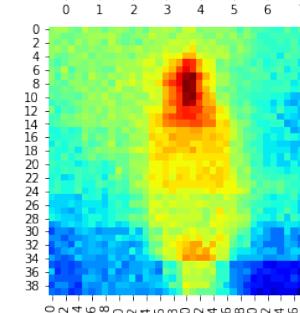
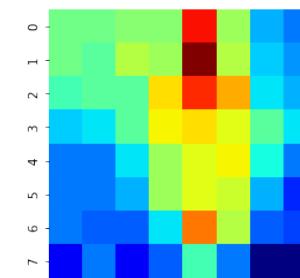
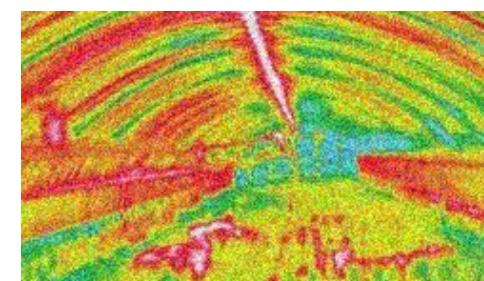




低成本・高機能センシングシステム

46

- 安価な赤外線アレイセンサ(Grid-EYE)を高精細化、圃場全体・農作業者を含めてセンシング
 - 高価な赤外線カメラを利用せずに効率計測
- 植物・土壤・環境温度・状況検知
 - 生育・生産効率化
- 人の活動量や温冷間感の推定
 - 農作業効率化・着衣活動量推定

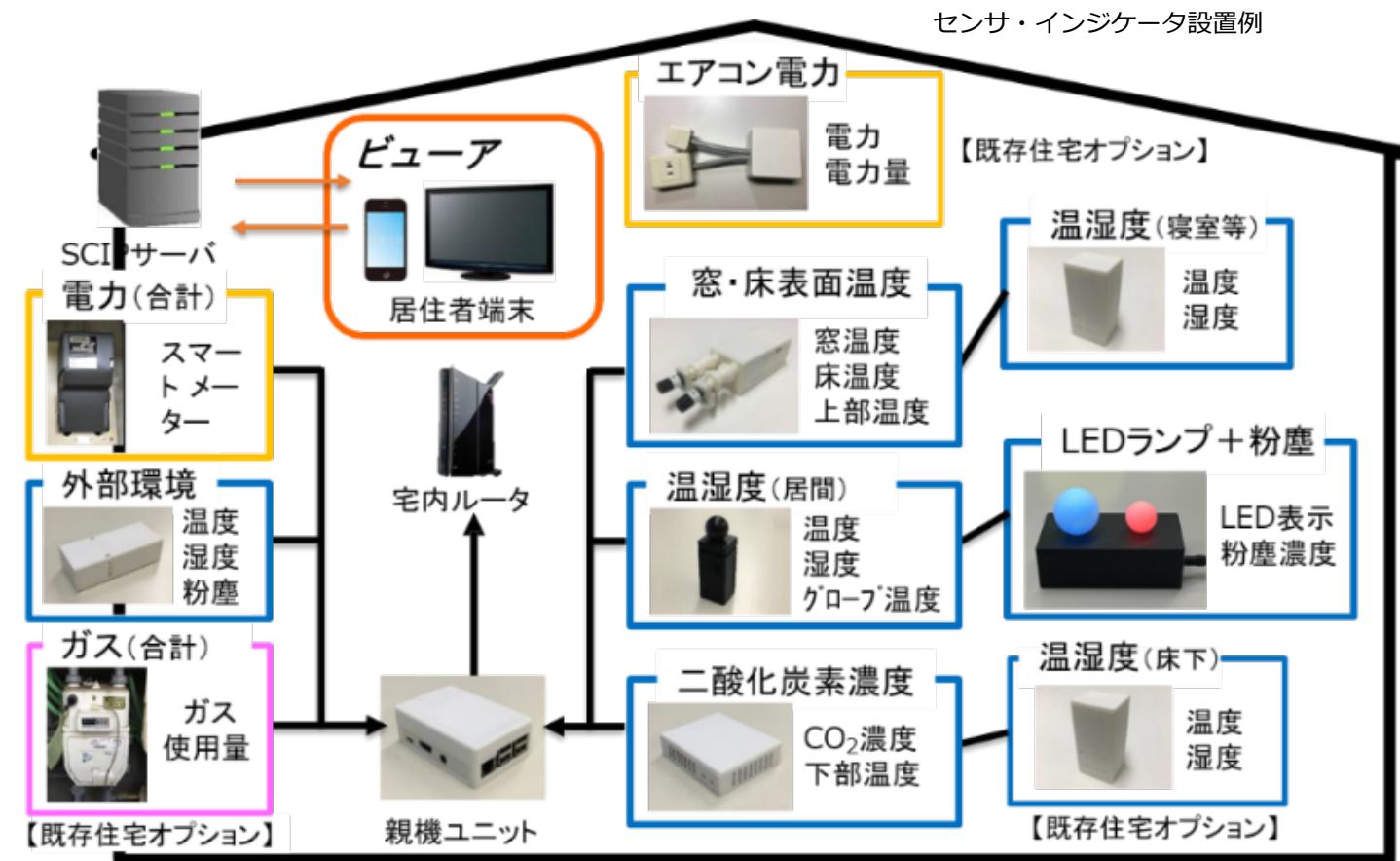


項目	値
ピクセル数	64 (2×8)
温度測定精度	0.25°C
温度測定範囲	0°C~80°C
温度測定誤差	2.5°C
測定距離	5m
測定視野角	60°
フレームレート	10 fps



スマートハウス

47





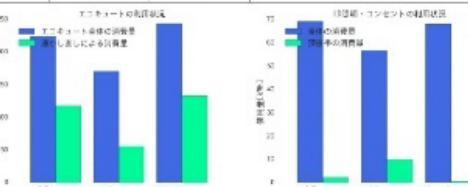
電力エコサービス・ナッジサービス

48

- 把握した電力使用量データを用いたエコナッジサービス
- 業者によるレポートとAIによる自動生成レポート両方で同様にエコ改善
- 家庭の違いやナッジに対する行動変容・負担を考慮してコンテンツを選択

LD照明・コンセントのご利用状況

項目	今月	先月	前年同月	コメント
総使用量	69.365kwh	56.709kwh	68.269kwh	先月に比べ22%、および前年同月に比べ26%増加しています。 テレビのディスプレイをこまめに消す、明るくしすぎない、不要な照明をこまめに消すといった対策をとってみてはいかがでしょうか。
ベース消費	0.069kwh	0.024kwh	0.079kwh	



キッチンのご利用状況

項目	今月	先月	前年同月	コメント
総使用量	55.244kwh	60.433kwh	51.289kwh	前年同月に比べ6%増加しています。使用方法の見直しによって、使用量を削減しましょう。

コンセント			
使用量	46.255kwh	49.839kwh	38.564kwh
ベース消費	0.058kwh	0.058kwh	0.058kwh

IH			
使用量	5.989kwh	10.564kwh	12.724kwh
20時台	20時台	20時台	20時台
最も使用した時間帯	2.715kwh	3.574kwh	4.129kwh

エコレコメンドレポートの例

空調ナッジに対する行動変容自動抽出結果の例

日付	平日/休日	最高外気温	最低外気温	平均外湿度	天候	①達成	②達成	③達成
8/1	平日	31°C	25°C	70%	晴れ	○	×	○
8/2	平日	32°C	25°C	62%	晴れ	×	○	×
8/3	平日	33°C	25°C	69%	晴れ	○	○	×
8/4	平日	34°C	25°C	66%	雨	×	×	○
8/5	平日	35°C	25°C	66%	曇り	×	○	×
8/6	休日	36°C	25°C	65%	曇り	○	○	○
8/7	休日	28°C	28°C	65%	雨	○	○	×
8/8	平日	31°C	31°C	64%	晴れ	×	×	×
8/9	平日	28°C	25°C	64%	晴れ	○	×	○
8/10	平日	28°C	28°C	63%	雨	×	○	○
8/11	休日	32°C	29°C	63%	晴れ	×	×	×
8/12	休日	28°C	28°C	62%	曇り	○	○	○
8/13	休日	31°C	25°C	62%	曇り	○	×	×
8/14	休日	28°C	28°C	61%	雨	×	○	○
8/15	休日	31°C	23°C	61%	晴れ	○	○	×
8/16	休日	32°C	25°C	60%	晴れ	×	×	○
8/17	平日	31°C	25°C	60%	曇り	×	○	○
8/18	平日	28°C	25°C	59%	晴れ	○	○	×

①はAC設定温度変更レコメンド、②はAC使用時間削減レコメンド、③はAC使用時間帯変更レコメンドについての達成、未達成を自動抽出した結果



エコ・快適生活レコメンド



- 【ホーム画面】
- ・天気予報
- ・センサーデータ現在値
- ・注意報情報
- ・その他

【温度グラフ】 **【湿度グラフ】**

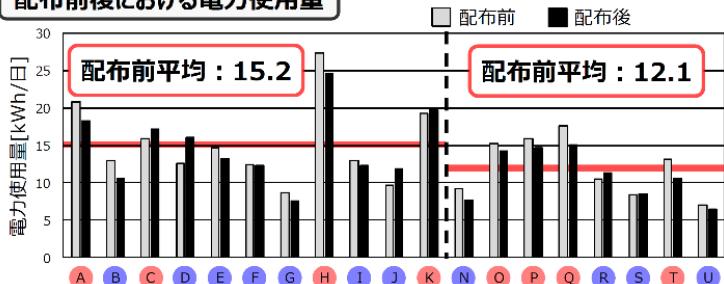
【環境情報】



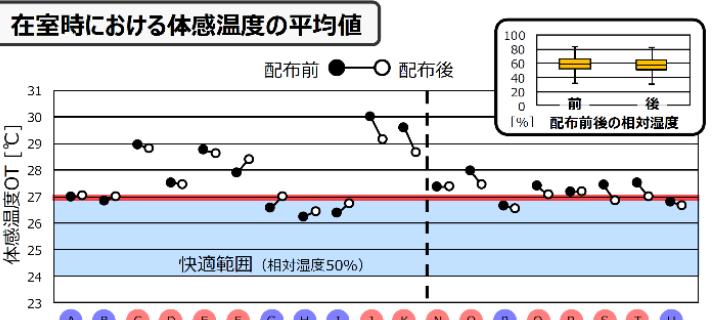
【CO₂濃度グラフ】 **【粉塵濃度グラフ】**
・PM2.5(内／外)
・PM10(内／外)

受雷型環境・エコレポート

配布前後における電力使用量

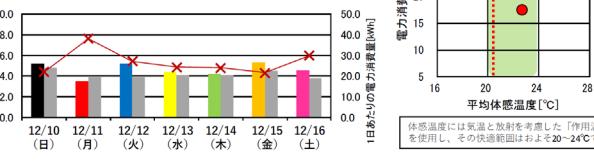


在室時における体感温度の平均値



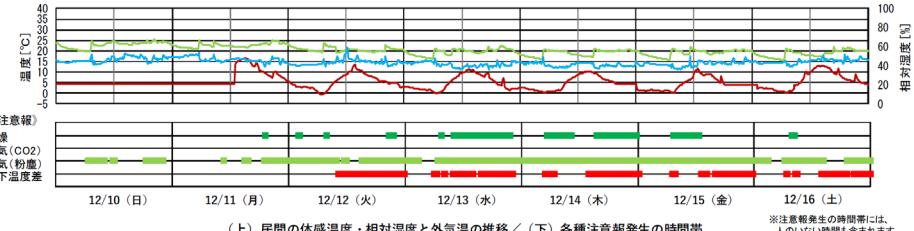
週間環境レポート [HOME△ ○□様]

	日	月	火	水	木	金	土
平均外気温 [°C]	4.4	7.6	5.4	4.9	4.8	4.3	6.0
電力消費量 [kWh] 【自宅】	26.0	17.5	26.0	22.0	21.0	26.5	22.5
電力消費量 [kWh] 【全住宅平均】	24.0	19.5	19.5	20.5	20.5	22.5	19.0



平均外気温と電力消費量 (左棒：自宅/右棒：全住宅平均) の推移

電力消費量と居間の体感温度の分布



16

環境・エコレポート

【省エネ性】

・全住宅平均より大きい日が多く見られます。室温が高すぎないか、家電の無駄使いがないかななど注意してみましょう。

【温熱快適性】

・体感温度が快適域より低い日が多いようです。我慢しているようであれば、直射日光の取り入れや厚着などを調整しましょう。

【注意報】

・換気注意報が比較的多く出ています。冬の換気は室温の低下を防ぐため、短時間の適度な換気を行いましょう。

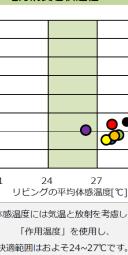
・天井付近に暖気があることが多いようです。サーキュレーター等で暖気を循環させる効果的です。

週間環境レポート [HOME△ ○□様] 2018/8/27～2018/9/2

1週間の使用電力状況



電力消費と快適性



【省エネ性】

全住宅平均よりも電力消費量が少なかったのは1週間のうち1日でした。電力消費が全住宅平均よりも少ない日が見られます。この日に倣って、省エネにつながりそうな行動を探してみましょう。

【温熱快適性】

平均体感温度が快適範囲に入っていたのは1週間のうち1日でした。室内がやや暑く感じる日があるようです。冷房や扇風機を使用し空室を調整しましょう。

【注意報】

今週は注意報はありませんでした。

(上) リビングの体感温度・相対湿度と外気温の推移 / (下) リビングの各種注意報発生の時間帯



16



健康・購買サービス（商業領域サービス）

50

- ・健康サービスとして活動量計の配布、体組成計連携、配布活動量センサに混載したWAONカード連携試験を実施
- ・年齢・性別などから購買履歴を勘案し健康維持を目的とした購買レコメンドなどのサービスを提供

活動量計＋体組成情報
＋健康情報＋購買情報
(WAONカード)



配布した端末と機能



タッチスタンドと体組成計測



タッチスタンド利用例





位置情報サービス

51

- ・位置情報インフラを構築

- ・街区にBLEアンテナを160基設置（実施期間内で10万レコード）
- ・BLEビーコンタグと専用アプリによる自転車・通学児童の位置情報を提供
- ・駐輪場所メモや、駐輪場所忘れサポートといった利用者サービスを展開

- ・さいたま市における**携帯GPS情報**を取得（2年で約3億レコード）

- ・**ローカル**で、位置・速度を勘案したウォーキングマイル管理
- ・駅自転車利用者の主な利用経路による動線設計や増設
- ・急ブレーキ判定や速度差が大きいパスのクロス地点の特定と対応



自転車用BLEタグと専用アプリ



専用アプリ

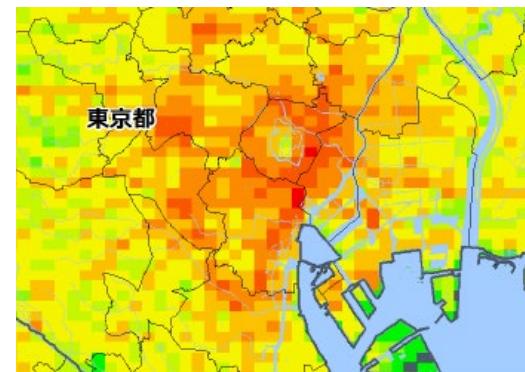


BLEアンテナ設置例



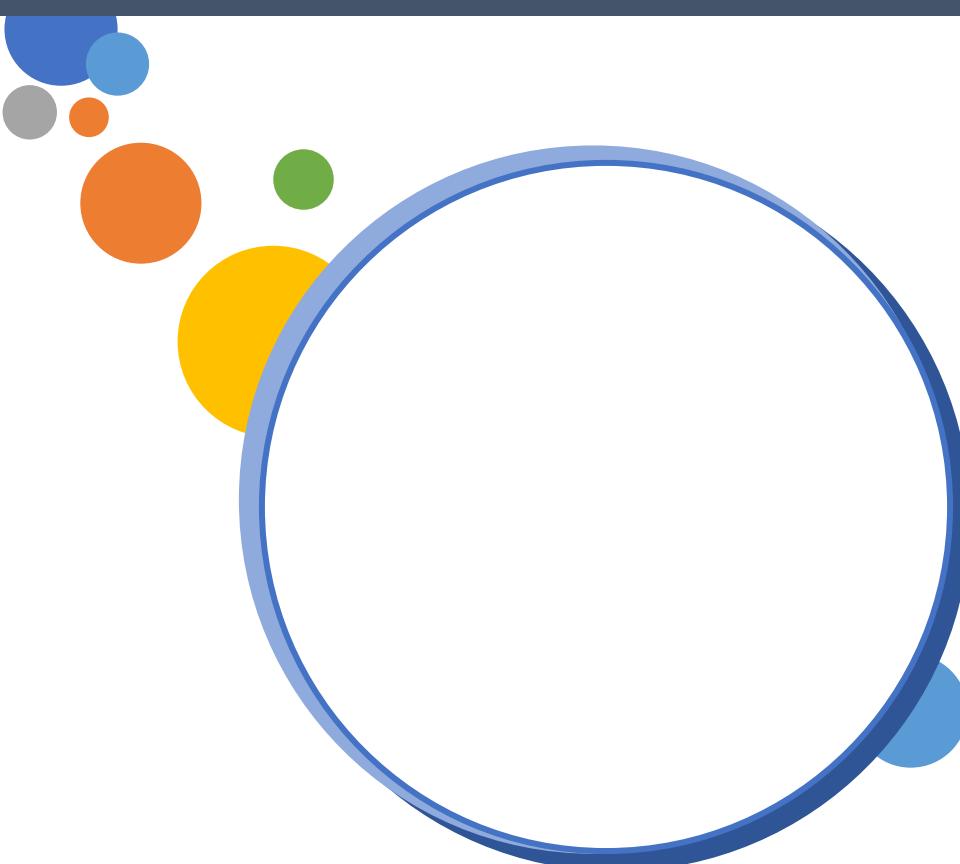
児童用BLEタグ

人口流動データ
Agoop

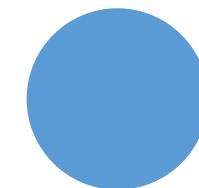
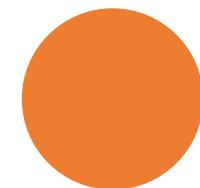
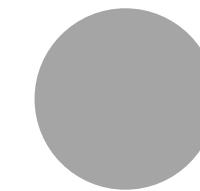


平日 15:00



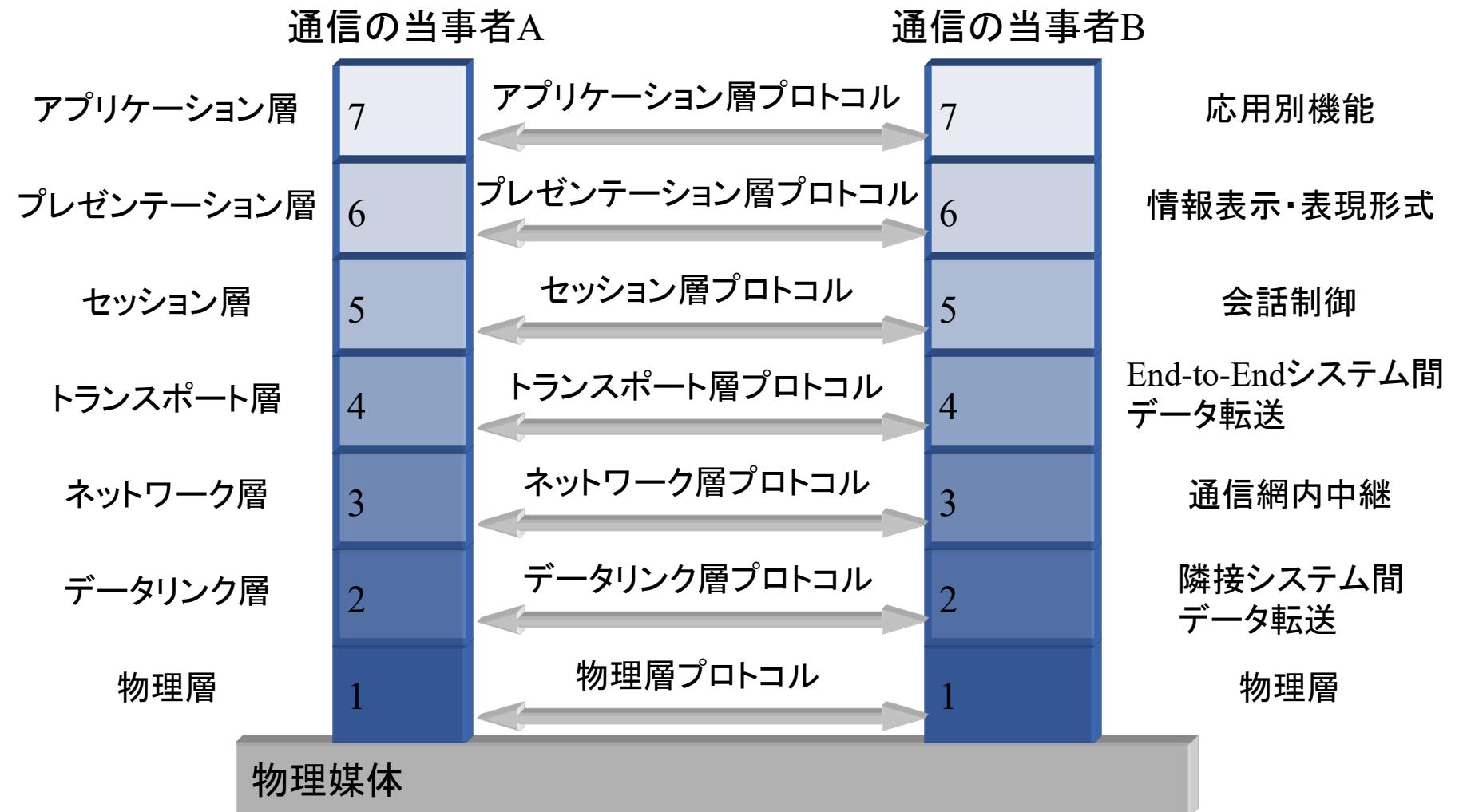


無線通信規格





OSIモデル





LANとは？

54

- ・ネットワークカテゴリの一つ
「ある限られた地域内で、電気通信事業者が提供する通信回線を使用しない全ての通信網」

IEEE802標準化委員会の定義

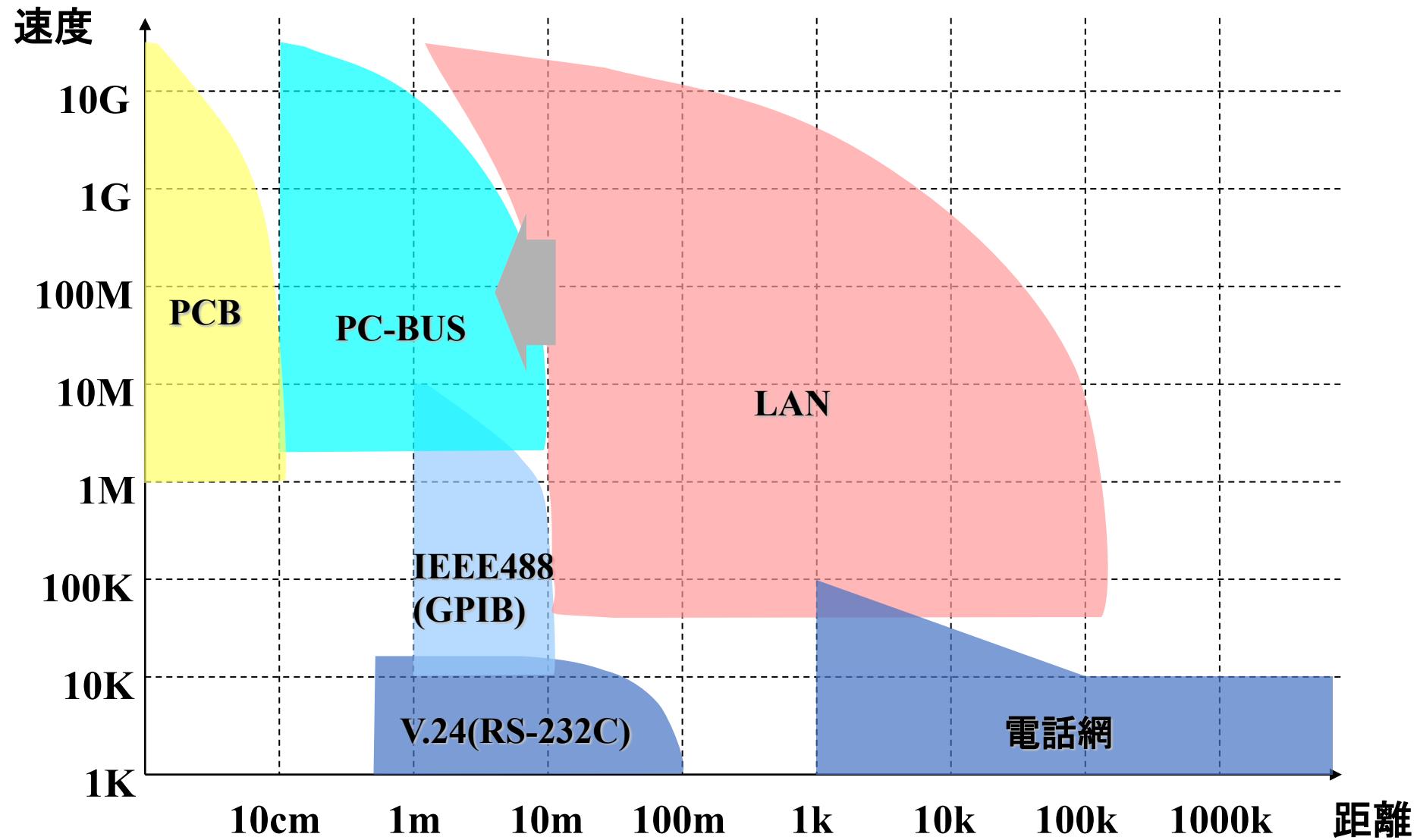
「ある限られた地域(1～20km程度)に分散配置された各種端末と接続装置などを高速(1Mbps～1Gbps)で結ぶ通信手段」

- ・OSIモデルが提唱される以前から存在しているため、OSIモデルに完全に一致しているとは限らない
(カプセル化による層の逆行や、区別が難しい層の存在)
- ・パケット通信網であり、コネクション型、コネクションレス型通信を行う
- ・安価なデバイスと、インターネット、イントラネットの普及



LANの位置づけ

55





802階層(www.ieee802.org)

56

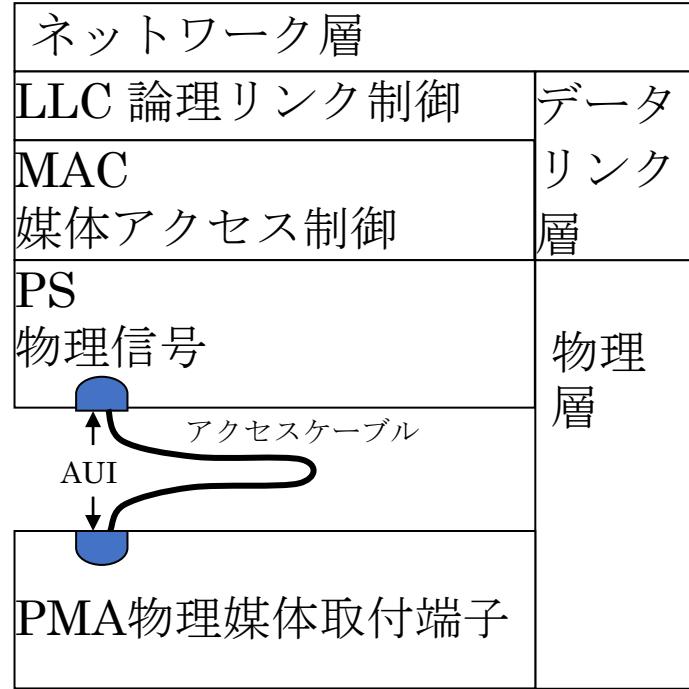
IEEE802SA階層

IEEE802.1高位層インターフェース	
IEEE802.2論理リンク制御（停止中）	
IEEE802.21 WRAN Wireless Regional Area Network	IEEE802.20 MBWA Mobile Broadband Wireless
IEEE802.17 RPR	IEEE802.16 BWA Wireless MAN
IEEE802.11 WLAN Bluetooth etc	IEEE802.15 WPAN
IEEE802.3 CSMA/CD PHY / PON	IEEE802.18 RRTAG (Radio Regulatory)

IEEE802.19 Coexistence TAG

IEEE802.21 handover and interoperability between heterogeneous network

OSI階層



物理媒体
CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

WLAN: Wireless LAN

WPAN: Wireless Personal Area Network

BWA: Broadband Wireless Access

RPR: Resilient Packet Ring

RR TAG: Radio Regulatory Technical Advisory Group

Inactive

802.2 Logical Link Control
802.4 Token Bus Working Group
802.5 Token Ring Working Group
802.9 Isochronous LAN Working Group
802.10 Security Working Group
802.12 Demand Priority Working Group

Disbanded

802.6 Metropolitan Area Network Working Group
802.7 Broadband TAG
802.8 Fiber Optic TAG
802.14 Cable Modem Working Group





イーサネットの分類

○BASE□という表記について

(※)アンダーラインは普及した規格

○の分類	伝送速度	1	1Mb	1BASE5など
		10	10Mb	10BASE-FPなど
		100	100Mb	100BASE-T4など
		1000	1000Mb (1Gb)	1000BASE-CXなど
		10G	10Gb	10GBASE-LX4など
□の分類	セグメント距離	5	500m	1BASE5, <u>10BASE5</u>
		2	185m	<u>10BASE2</u>
	伝送媒介	T	Twisted Pair	<u>10BASE-T</u> , <u>100BASE-TX</u> , -T4, -T2, <u>1000BASE-T</u>
		F	Fiber	10BASE-FP, -FB, -FL, <u>100BASE-FX</u>
		C	Coax	1000BASE-CX
	レーザの種類 (ファイバ)	E	Extra Long (40km, 1550nm)	10GBASE-ER, -EW
		L	Long (10km, 1310nm)	10GBASE-LR, -LW, -LX4, <u>1000BASE-LX</u>
		S	Short (65m, 850nm)	10GBASE-SR, -SW, <u>1000BASE-SX</u>





イーサネットの種類

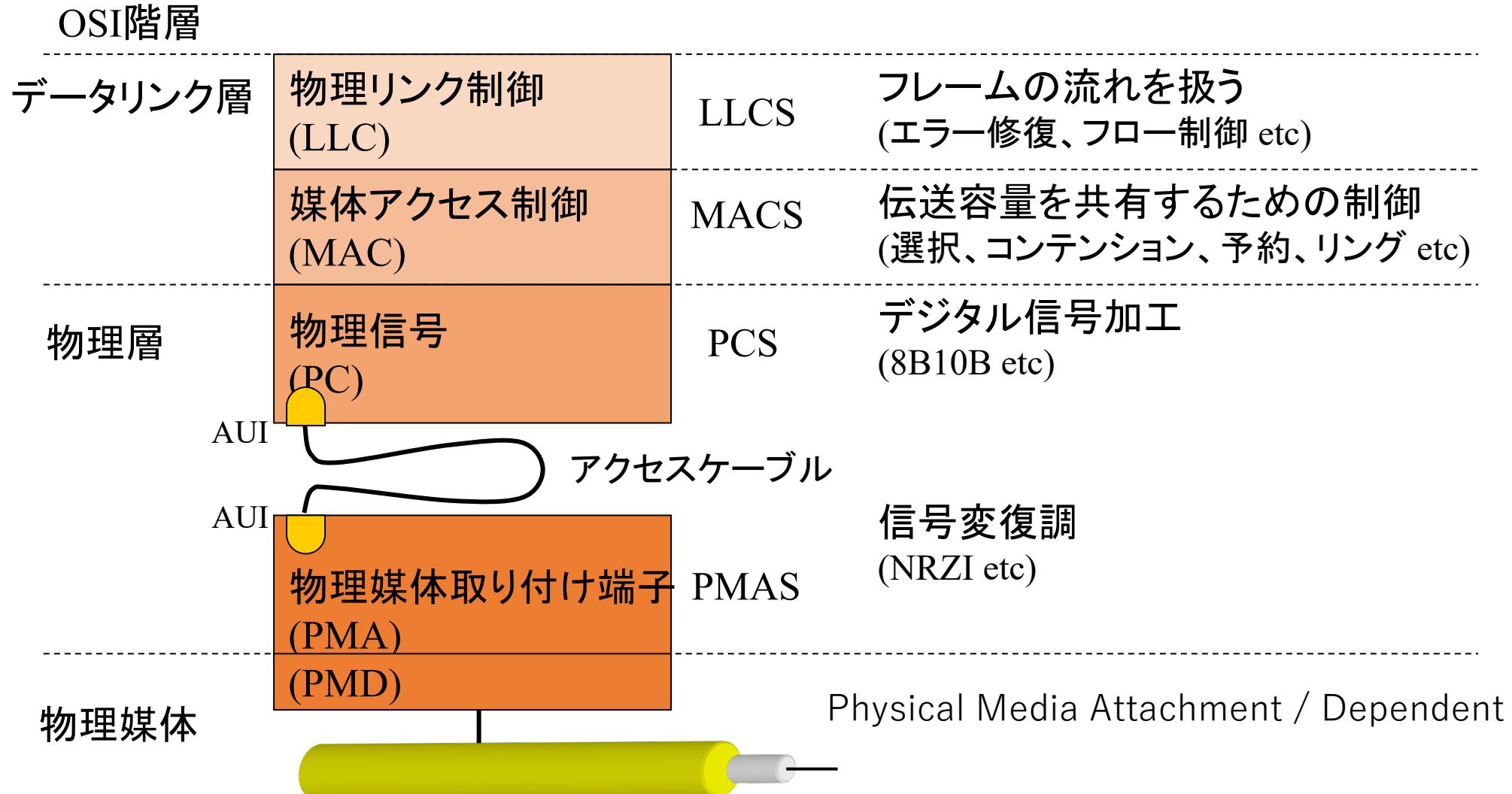
通称	標準化年	タイプ
802.3	1983	1BASE5
802.3a	1985	10BASE2
802.3b	1985	10BROAD36
802.3i	1990	10BASE-T
802.3j	1997	10BASE-FP, 10BASE-FB, 10BASE-FL
802.3u	1995	100BASE-TX, 100BASE-FX, 100BASE-T4
802.3y	1993	100BASE-T2
802.3z	1998	1000BASE-LX, 1000BASE-SX, 1000BASE-CX
802.3ab	1999	1000BASE-T
802.3ae	2002	10GBASE-LX4, 10GBASE-SR, 10GBASE-LR, 10GBASE-ER, 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW
802.3ba	2010	40GBASE-KR4, 40GBASE-CR4, 40GBASE-T, 40GBASE-SR4/LR4,
802.3bg	2011	100GBASE-KP4, 100GBASE-CR10, 100GBASE-SR10/LR4/ER4





LANアーキテクチャ

- LANにOSIモデルを取り込むため、物理層とデータリンク層をさらに分割





物理媒体

	転送速度	無中継距離	誤り率	価格	例
撫り対線	1Gbps	100m	10^{-6}	安価	UTP-C3 UTP-C6
同軸ケーブル(BASE)	10Mbps	500m	10^{-8}	高価	10BASE5 CATV
同 軸 ケ ー ブ ル (BROAD)	450Mbps	300km	10^{-8}	高価	10BROAD36
プラスチック光ファイバ	200Mbps	50m	10^{-8}	安価	GI-POF
光ファイバ	数Gbps～ 1Tbps	300km	10^{-9}	最も 高価	10GBASE-LR
無線	数Mbps～ 600Mbps	100m	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	安価	赤外線、電波





コンテンツショニ方式

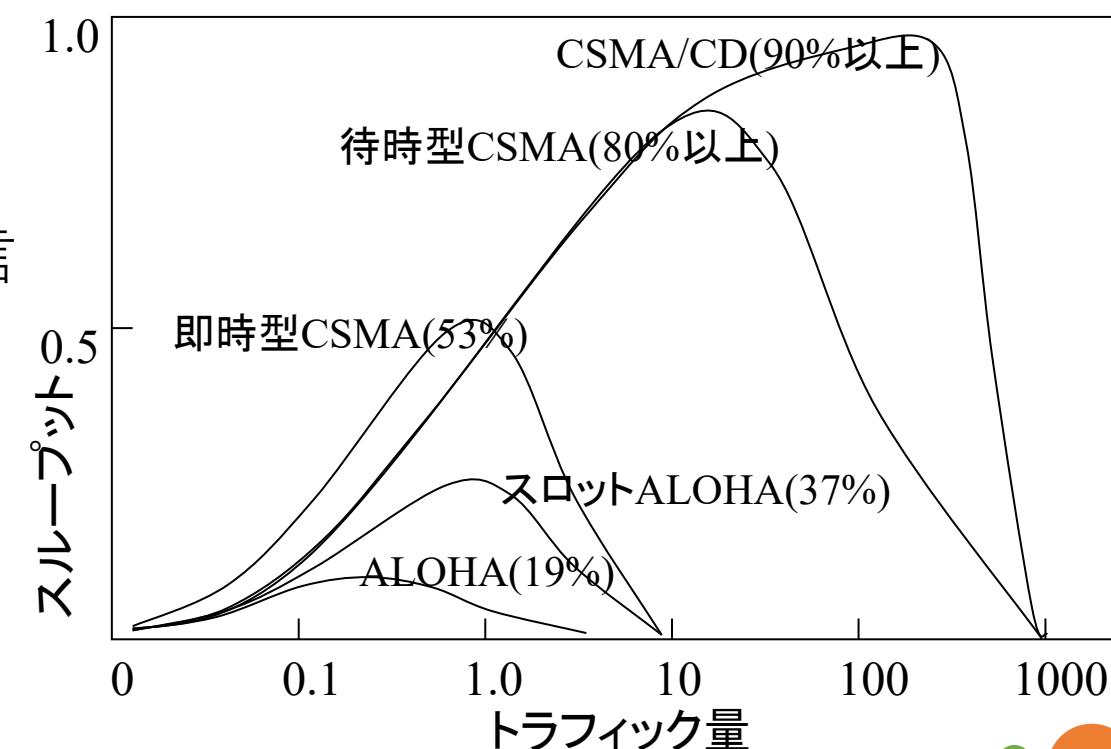
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- データやキャリアが聞こえている間送信を見合わせることで衝突を避ける技法
 - 各ノードはそれぞれ独立に動作 → すぐにデータを送りたい
 - まずトライして失敗したらやり直そう
- ハワイ諸島と無線ネットワークで結ぶALOHAで最初に利用され改良される

- CSMAに至る経緯

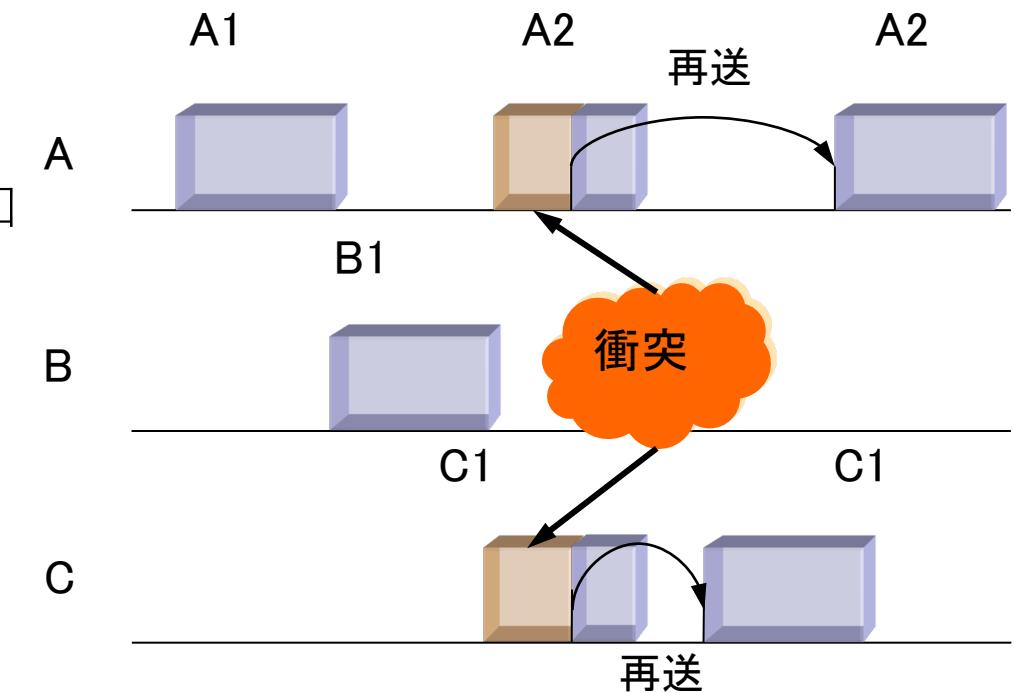
- スロット：分割したスロットの初めのみデータを送る(スロットALOHA)
- 即時型CSMA：媒体が静かになったら即送信
- 待時CSMA：乱数で待ち時間を変える方法
- CSMA/CD：送信局が衝突を検出し衝突データを再送する技法
- CSMA/CA:無線LANで用いられる方式

CSMA/CD: CSMA with Collision Detection





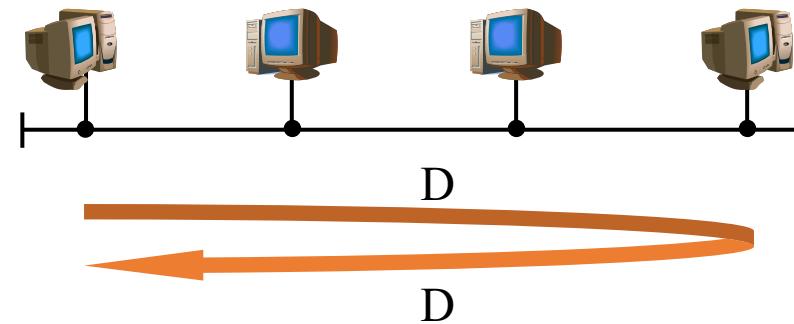
- Listen before talking
 - 送信ノードは、送信前に伝送路上のキャリアをセンス
 - キャリア有：キャリアがなくなるまでセンス継続
 - キャリア無：即時パケット通信
- Listen while talking
 - 送信ノードは、送信中も伝送路をモニタ
 - パケット衝突を検出すると送信中止
 - 伝送路上にジャム信号(96bit)を送信し衝突を通知
- Backoff
 - ランダム時間後に再送信を試みる





CSMA/CDにおけるスロットタイム

- 最大(最遠端ノード間の)信号伝播遅延時間をDとする
- 送信を開始してから衝突検出までの最大時間2D
 - $2D = \text{スロットタイム、衝突ウインドウ}$



- スロットタイムにより最小データ長が規定される
(IEEE802.3では512bit)





- ランダム1
 - 各ノードが一定範囲内の乱数を作成し待ち時間を決める
 - 乱数の範囲大 → 再衝突確率小 & ネットワーク利用効率低
- ランダム2
 - 衝突の発生回数(n)により決まる上限値(U)の範囲内の乱数を作成
 - $U = 2n$
 - 衝突回数が増大すると乱数範囲が大きくなり衝突確率が低下
- 固定割り当て
 - ノードの物理的位置や優先順位により待ち時間を割り当てておく
 - ノードの追加や撤去に伴い再設定が必要





有線によるネットワークプラットフォーム

65

- 高信頼性・リアルタイム性からFA分野で需要が多い
- USB
 - 電源供給が可能で比較的高速、遠距離通信には不適（仕様上は3m、拡張デバイスにより300mまで）
- PoE
 - 電源供給が可能なEthernet、無線LANとの差別化が難しくコスト対性能の点で優位にたてていない
- 1-wire
 - DALLAS/MAXIMにより1本の通信線（GNDが別途必要）で利用できる
- LonWorks
 - 特に欧州で著名なセンサネットワークで規格としては古い部類





カテゴリー

66

Category	Type	B/W	Length	LAN Applications	Notes
Cat3	UTP	16 MHz	100m	10Base-T, 4Mbps	Now mainly for telephone cables
Cat4	UTP	20 MHz	100m	16Mbps	Rarely seen
Cat5	UTP	100MHz	100m	100Base-Tx, ATM, CDDI	Common for current LANs
Cat5e	UTP	155MHz	100m	1000Base-T	Common for current LANs
Cat6	UTP	400MHz	100m	1000BASE-TX	Emerging
Cat7	ScTP	625MHz	100m	10GBASE-T	
Cat8	ScTP	1400MHz	100m?	40GBASE-T	

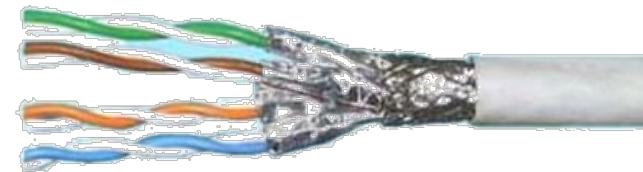




物理媒体コンポーネント

67

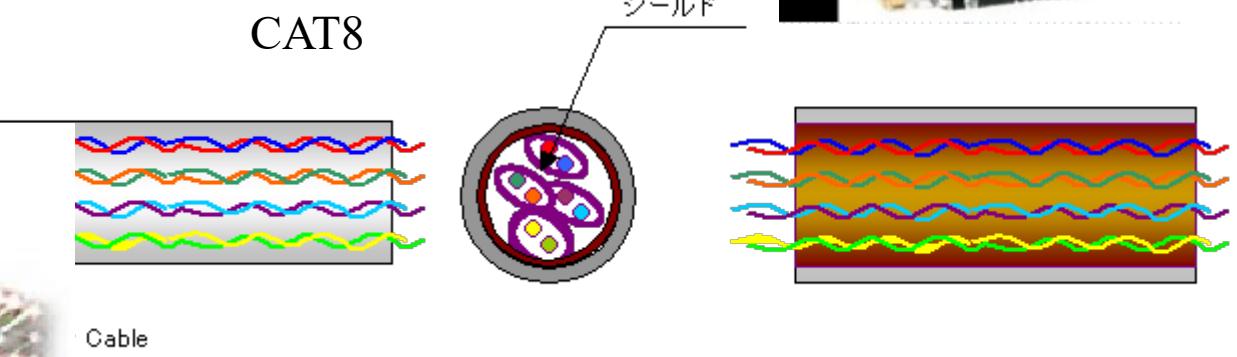
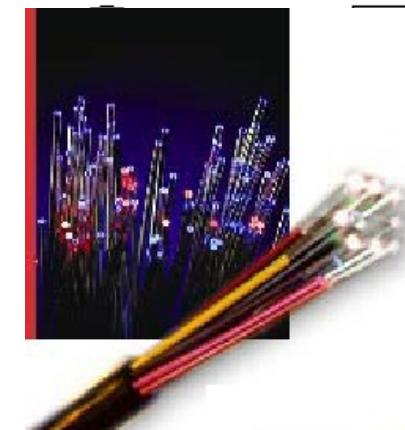
- 撥り対線



- 同軸



- 光ファイバ



- 無線





- 無線LANの登場

- 小型コンピュータの携帯性を損なうことなくLANに接続
- IEEE802.11 Wireless LAN Working Group により標準化
- 有線LANの代替としての無線LAN
 - ケーブリング問題の解決・施設、保守、拡張、移設等における自由度を拡大
- 新しい分野を開拓する無線LAN
 - ステーションの移動性(ポータビリティ)を生かし、今まで利用できなかった領域でLANの運用、利用を模索

- 標準化

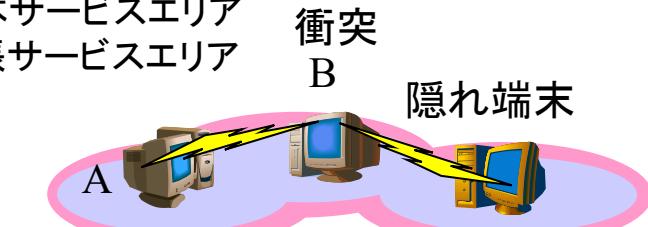
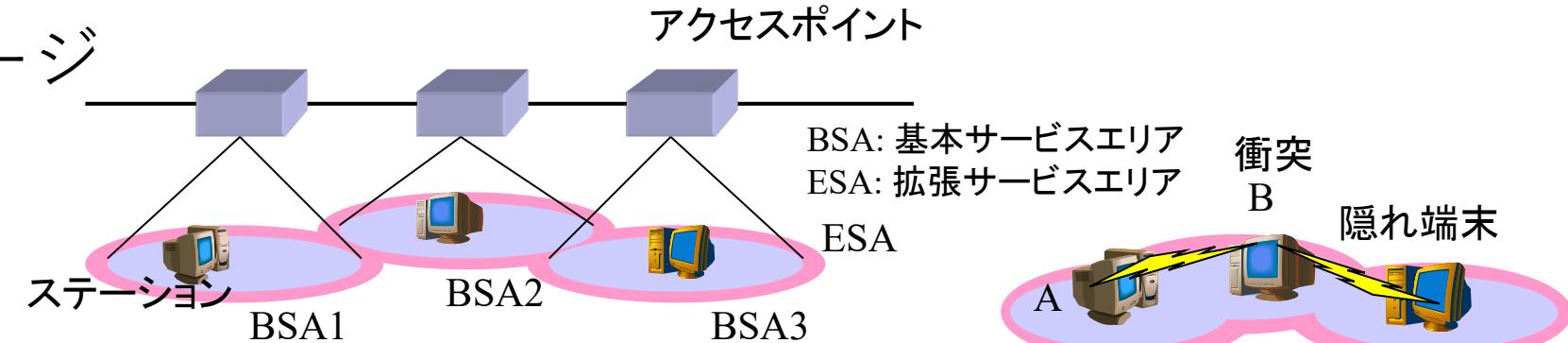
802.11a	54Mbps, 5GHz
802.11b	11Mbps, 2.4GHz
802.11g	54Mbps, 2.4GHz, OFDM
802.11i	802.11MACセキュリティWPA,WPA2
802.11n	65Mbps～600Mbps
802.11ac/ad	デュアルリンクで1Gbps以上を実現
802.11ax	9.6Gbpsを達成、Wi-Fi6とも呼ばれる



無線LANの構成

69

- 無線LANシステムイメージ



- ステーション

- 互いに通信する装置を有線LAN同様ステーションと呼ぶ
- 移動度合いから、固定、半固定、移動ステーションに分類

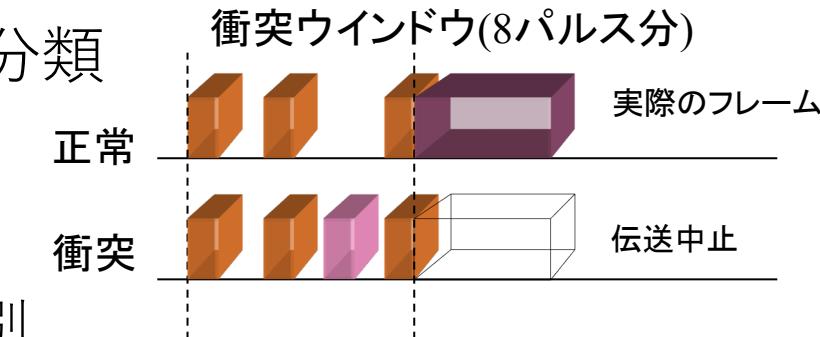
- アクセス制御は基本的には有線LANと同じ戦術

- CSMA/CA (Collision Avoidance)

- ランダムにパルスを送信、パルスを検出することで衝突を判別
- 電波伝搬上の障害や、隠れ端末(互いに見えないステーション)による性能劣化
- 隠れ端末問題はRTS(Request to Send)/CTS(Clear to S)により抑制できるがオーバヘッドを伴う

- ポーリング方式

- TDMAと予約：TDMAスロットにALOHA方式でアクセスし、獲得できれば同一位置スロットを継続利用
- CSMAと予約：キャリア検出後予約フレームを送信し、受信先が予約確認応答フレームを返信





無線媒体

- 国ごとに無線システムで使用できる周波数帯が異なる
- 日本で利用可能な無線媒体

	2. 4GHz +SS	19GHz +狭帯域変調	赤外線 ビーム方式	拡散方式
速度	<2Mbps	<10Mbps	<50Mbps	<1Mbps
コスト	中	高	中	安
移動適正	優	良	劣	並
通信範囲	広	中	見通し、近距離	狭
ライセンス	不要	要	不要	不要
備考	伝播上有利 高速なものは周波数 割り当て上困難	高速化可能 伝播上不利	見通し必要 高速化可能	見通し不要 高速化不可





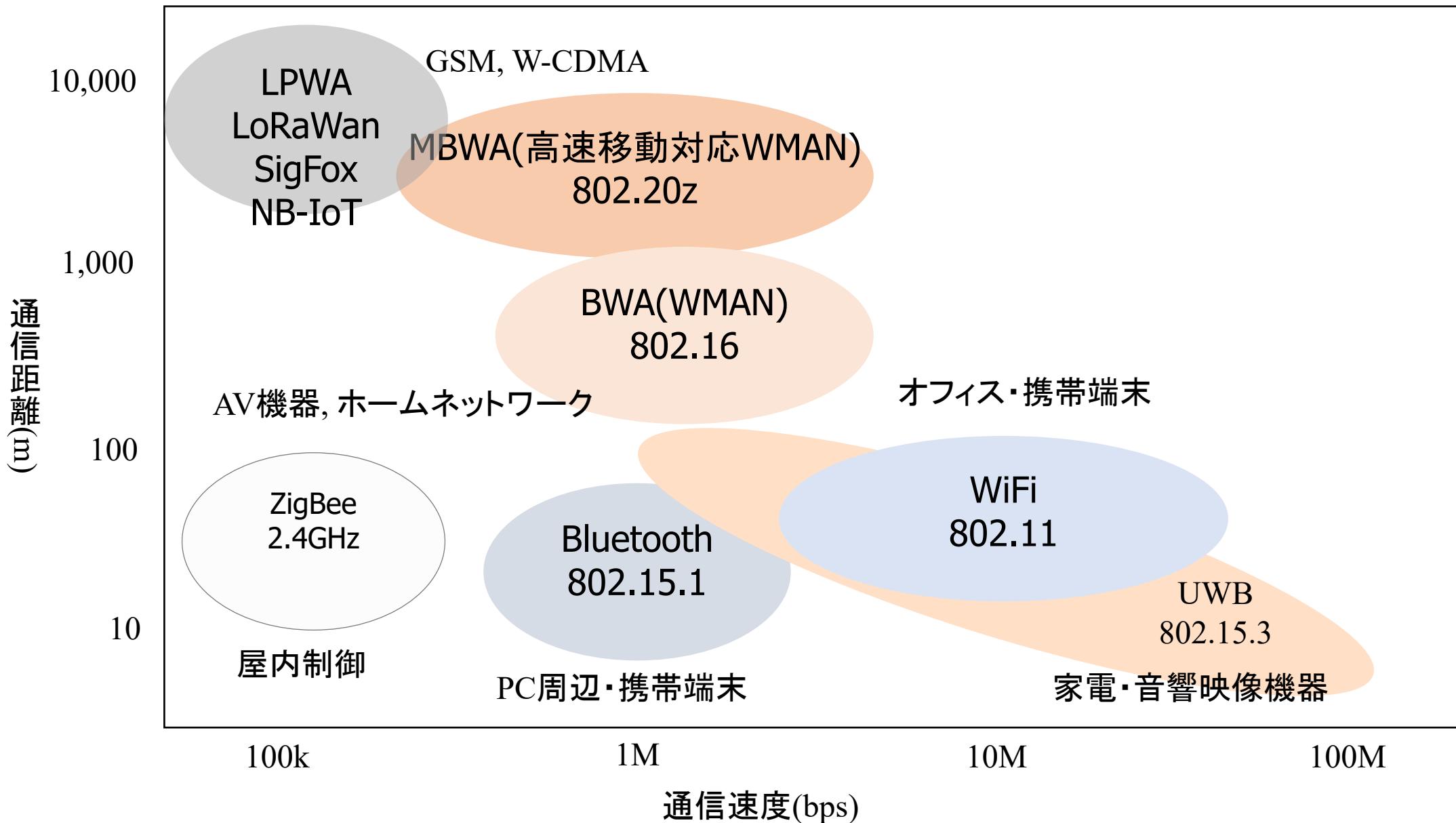
分類

ネットワーク	標準化	例	備考
短距離無線 ～数m	通信方式ごと個別 特定小電力無線 ARIB-STD-T67 IEEE1451	RFID(トレーサビリティ) DSRC(ITS) NFC(Suica等) その他特定小電力無線	
無線PAN ～20m	IEEE802.5	Bluetooth(IEEE802.15.1) UWB(IEEE802.15.13a) ZigBee(IEEE802.15.4)	業界団体としてBluetooth SIG, WiMedia Alliance, USB Forum, ZigBee Allianceがある
無線LAN ～100m	IEEE802.11	IEEE802.11/a/b/g	次世代高速版IEEE802.11n 業界団体としてWi-Fi Allianceがある
無線MAN ～100km	IEEE802.16(BWA) IEEE802.20(MBWA)	Flush-OFDM iBurst	業界団体としてWiMAX
無線WAN 基地局を介した グローバル携帯電話網	3GPP, 3GPP2 4G, LTE, 5G	第2世代(PDC, GSM等) 第3世代(W-CDMA, cdma2000) 第3.5世代(HSPDA, EVDO) 第4世代(4G, LTE)さらに第5世代	



無線規格の位置づけ

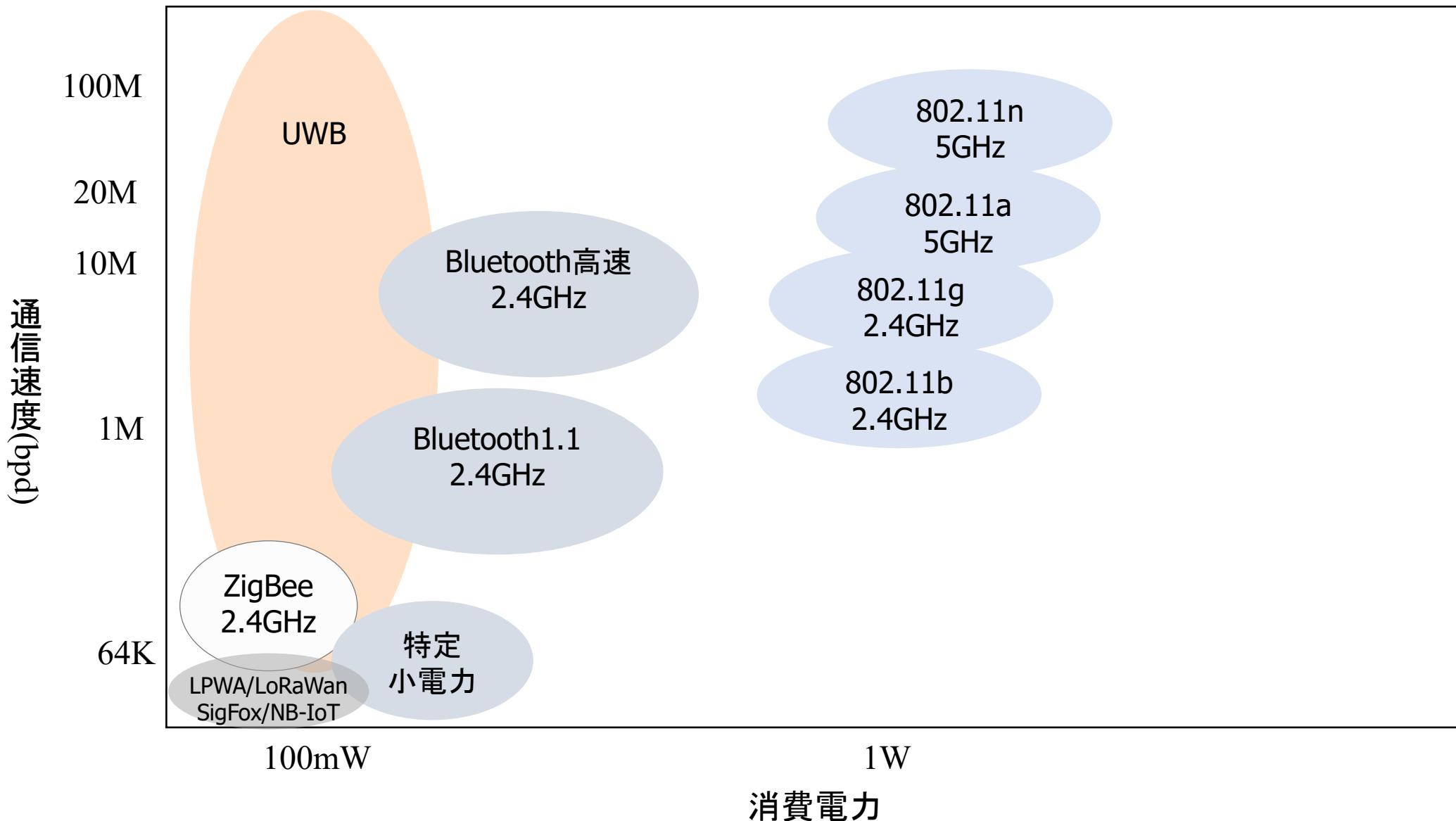
72





消費電力からみた位置づけ

73





Wi-Fi高速化

74

- IEEE 802.11ac
 - 8ストリーム時の理論値で6.9Gbps
 - 国内販売Wi-Fiアクセスポイントは4ストリームで最大2167Mbps
クライアント側は2ストリームで最大867Mbps
- IEEE 802.ax
 - 最大転送速度が9.6Gbps、混雑下での速度向上
- IEEE 802.11ad 60GHz帯
- IEEE 802.11 ay IEEE 8902.11ad の後継
- WiGig
 - UWBの失敗を糧に標準化へ(UWBで説明)
 - 広範にメンバーを集め、Wi-Fi Allianceと話し合いながら標準化を進める
 - 実はWirelessHDという対抗馬もある 60GHzの映像伝送に特化





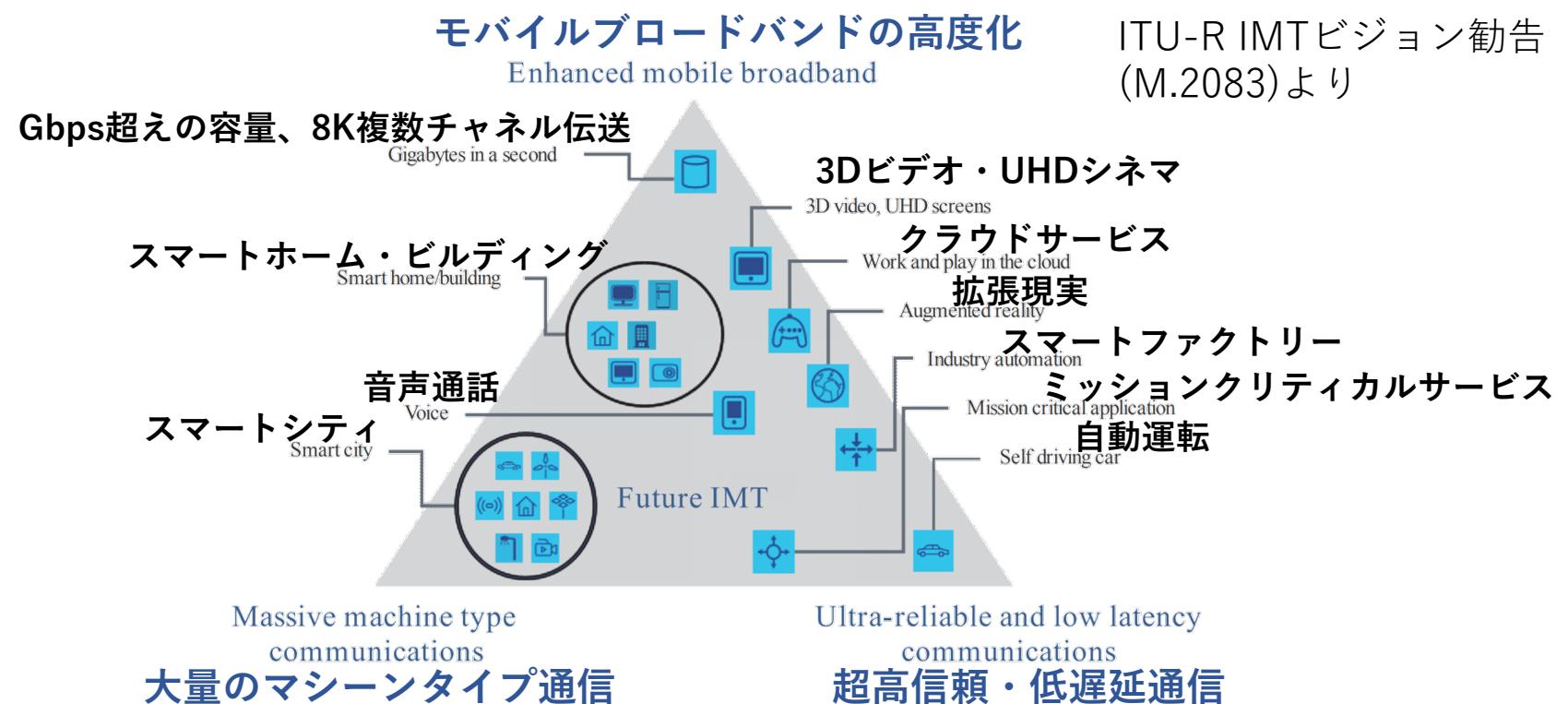
- 様々な技術を組み合わせた規格

- 2.4Gと5Gのシームレスな相互連携運用
- 時間・周波数多重・OFDM(直交周波数分割多重)に加えて、複数のアンテナを用いたMU-MIMO(Multi-User Multiple-input and Multiple-output)による空間多重(ビームフォーミング)など様々な技術を利用
 - MIMOが複数アンテナで送受信を行う1対1の通信に対して、MU-MIMOはアンテナごとに異なる信号を複数の端末に送信する1対多の通信を実施
- TWT(ターゲットウェイクタイム)により通信タイミングを端末に合わせて制御、端末の消費電力を低減
- 高スループット・多接続・低消費電力を実現 (5Gと同じ流れ)

Wi-Fi 規格名	最大通信速度	周波数	新呼称
IEEE 802.11a	54Mbps	5GHz 帯	-
IEEE 802.11b	11Mbps	2.4GHz 帯	-
IEEE 802.11g	54Mbps	2.4GHz 帯	-
IEEE 802.11n	600Mbps	2.4GHz 帯/5GHz 帯	Wi-Fi 4
IEEE 802.11ac	6.9Gbps	5GHz 帯	Wi-Fi 5
IEEE 802.11ax	9.6Gbps	2.4GHz 帯/5GHz 帯	Wi-Fi 6



- 容量10倍(10G)、遅延1/10倍(1ms)、端末数100倍(1M/1km²)化技術
 - とはいっても、性能のことしか聞こえてこない？
- 位置自在性と同様に、特性を変えられるということ、基本は同じ
- これらの特性をどのように利用するのか、サービスが大事





- 省電力長距離通信(LPWA)であり、LoRaアライアンスによる規格
 - LoRa=Long Rangeで米セムテック社が開発、長距離通信が可能で、自前で基地局を設置可能
- LoRaは変調方式を意味し、LoRaWANはMACも含めた全仕様を指す
 - このあたりは誤解も多く、LoRaWANを略してLoRaとする場合もある
- IoT向けで仕様がオープンかつライセンス不要、特小か920MHzを利用
 - LoRaWAN=Long Range Wide Area Network(長距離広域網)
- 特徴
 - とにかくスループットを落としてひたすら飛ぶようにした規格
 - 低消費電力(LED程度で20mA)・長距離通信(800MHzで10Km程度)
 - ペイロードは～242byte(Sigfoxは12byteなため、LoRaWANの方が使いやすい)
 - IoT需要が活況、LoRaWANゲートウェイを提供する通信事業者も出現
 - LoRaWAN対応IoTセンサを設置するだけ





無線変調方式

78

- 振幅偏移変調 (ASK=Amplitude Shift Keying)
 - 2値の場合はOOK(on-off-keying)と呼ばれ、ETCやキーレスエンタリー、RFIDタグなどの狭域通信（極めて近距離の通信）を中心に、構成が簡単であるため用途が拡大している
 - 振幅変調であるため、振幅ノイズやフェーディングなどの振幅変化に弱く、近距離通信が求められる
 - 単純なASKの場合は、変復調ハードウェアが簡単
- 周波数偏移変調 (FSK= Frequency Shift Keying)
 - GFSK (Gaussian Filtered Frequency Shift Keying) はベースバンド信号をガウシアンフィルタで帯域制限した位相連続FSK
- DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)
 - 直接シーケンス・スペクトラム拡散方式
 - 共通の疑似雑音信号 (PN信号=Pseudo Noise) を共有し、これを元に、データを変調・復調する
- FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)
 - 周波数ホッピング方式で極めて短かい時間(0.1秒程度が多い)ごとに信号を送信する周波数を変更
 - 次々に送信周波数を変更するため、特定周波数でノイズが発生した場合は訂正可能





主な無線ネットワークプラットフォーム

79

デバイス	Chipcon CC1000	RFM TR	ZigBee	Bluetooth5/BLE
周波数帯	300-900MHz	300-900MHz	2.4GHz等	2.4GHz
規格	微弱電流	微弱電流	IEEE802.15.4	IEEE802.15.1
最大チャネル数	数十	1	16	32
最大通信速度	150kbps	111.5kbps	250kbps	2M/1M/0.5M/ 125kbps
最大通信距離	約10m(300m)	約10m	約30m(100m)	約100m～400m
変調方式	FSK/ASK/GFSK	ASK/OOK	DSSS	8DPSK
適用例	MICA2 MOTE	MICA MOTE	MICAZ MOTE IoT	SmartITS・認証 IoT・PC周辺・PAN
備考			最大64,000台 接続可能	制限なし 実質最大150台程度

もちろん無線LANも含まれるが、どれも、無線LANに比べて低消費電力である





演習問題（1）

1. 次の説明文章が対象としている最も適切な用語を次の中から選びなさい
CSMA/CD, TDMA, 通信プライオリティ, トークンリング
 1. 各ノードに論理的な順位付けを行い、送信権を順次受け渡し、これを受け取ったノードだけが送信を行う
 2. 各ノードは伝送媒体が使用中かどうかを調べ、使用中でなければ送信を行う。衝突を検出したらランダムな時間経過後に再度送信を行う
 3. 各ノードを環状に接続して、送信権を制御するための特殊なフレームを巡回させ、これを受け取ったノードだけが送信を行う
 4. タイムスロットを割り当てられたノードだけが送信を行う
2. CSMA/CD方式に関する記述のうち適切なものはどれか
 1. 衝突発生時の再送動作によって、衝突の頻度が増すとスループットが下がる。
 2. 送信要求の発生したステーションは、共通伝送路の搬送波を検出してからデータを送信するので、データ送出後の衝突は発生しない
 3. ハブによって複数のステーションが分岐接続されている構成では、衝突の検出ができないので、この方式は使用できない
 4. フレームとしては任意長のビットが直列に送出されるので、フレーム長がオクテットの整数倍である必要はない





演習問題（1） 続き

3. WiFi、無線LAN、IEEE 802.11の違いについて、簡単に説明しなさい

注意事項

- これらの設問に対する回答を、Microsoft Wordファイルで作成
- keio.jpで提出すること
- A4 1枚で作成すること
- 最初にタイトルとして「演習問題（1）」と書き、名前と学籍番号を記載すること。
このフォーマットに従っていないレポート答案は受け取らない。
- 締め切りは7月頭であり、詳細はkeio.jpを確認すること

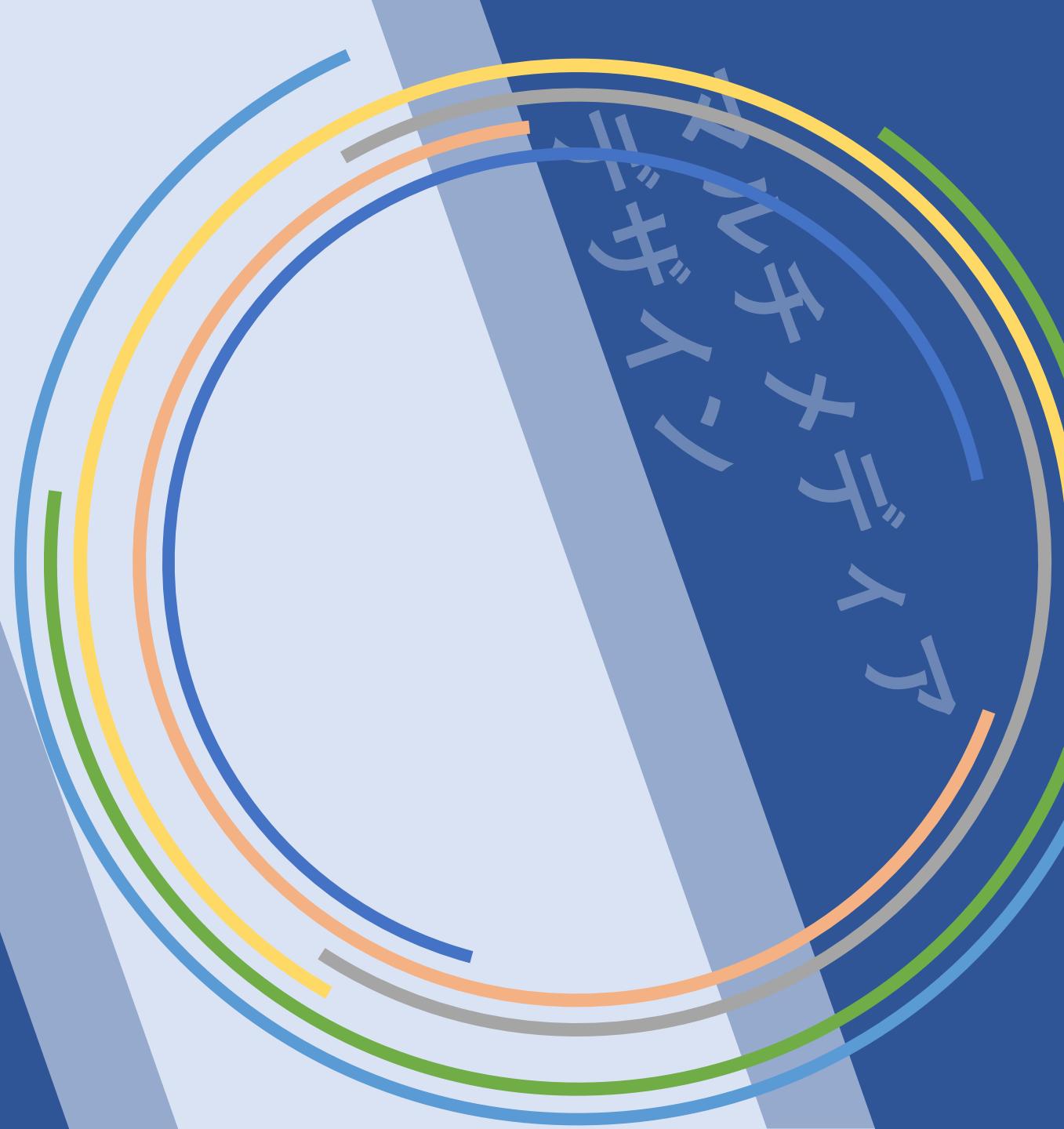


この授業のスライドはkeio.jpで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ
<https://keio-st-multimedia.slack.com>



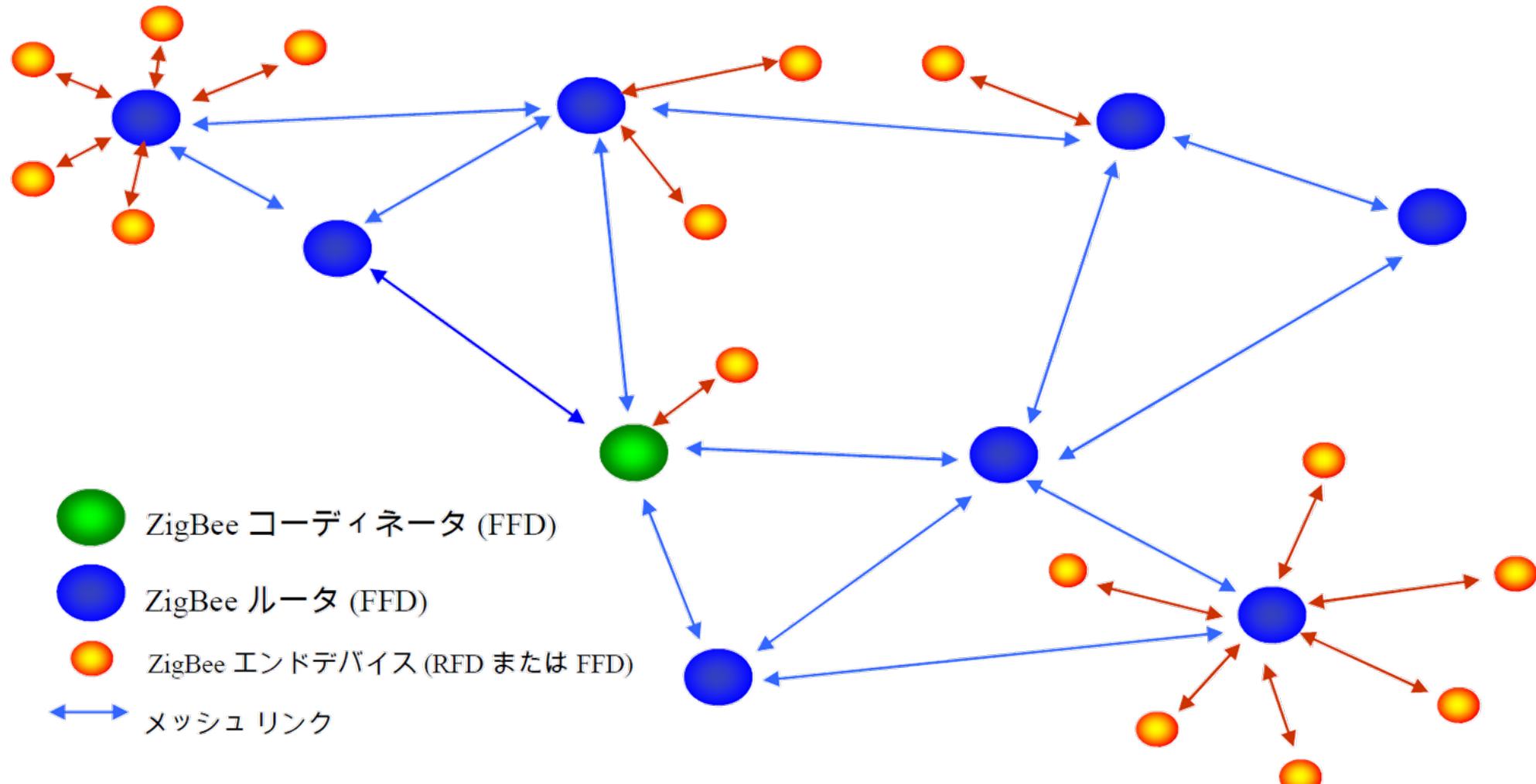
#4 センサネットワーク 通信規格・通信規約

担当： 西 宏章





- ネットワーク通信モデル

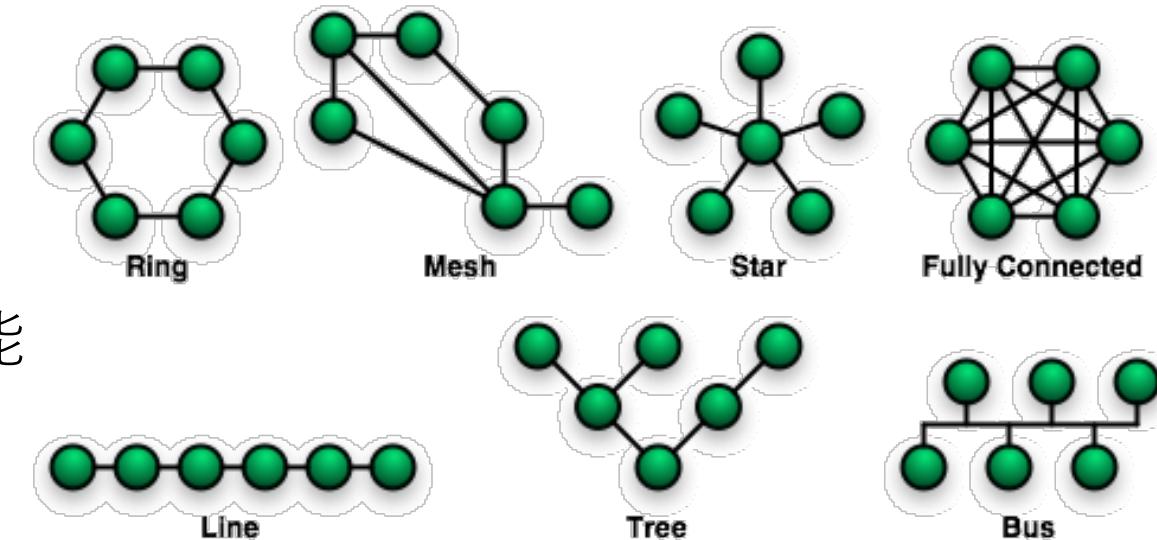


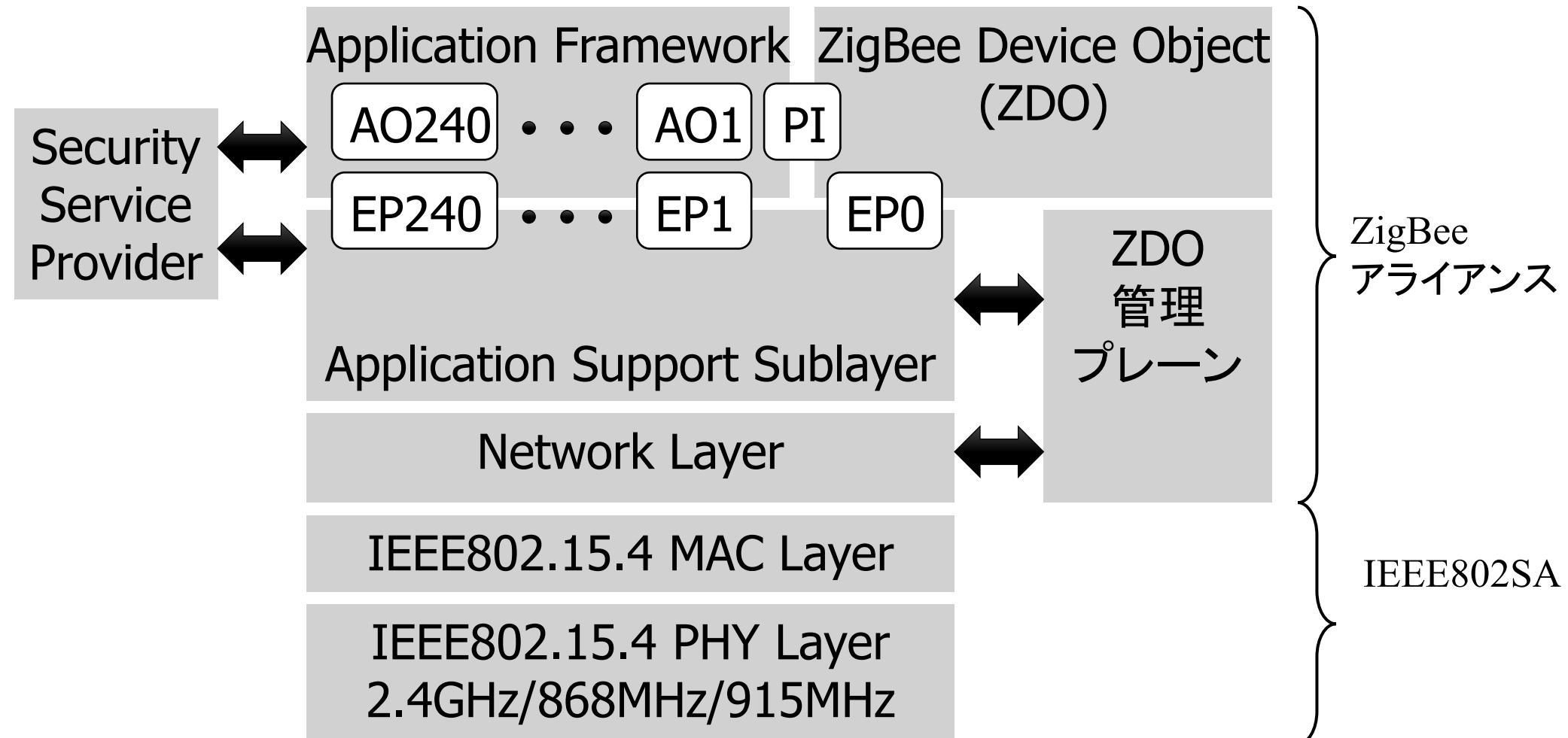


ネットワークトポロジ

85

- ・スター型ネットワーク
 - ・コーディネータ×1 + エンドデバイス×n
 - ・ビーコンによる同期型PANが可能
 - ・全てのZigBeeデバイスの省電力動作が可能
 - ・通信エリアが狭い（最大半径70m程度）
- ・メッシュ型ネットワーク
 - ・ルータデバイスを配置することで通信エリア拡大可能
 - ・テーブルルーティングで複数の経路を使用可能であるため、障害に強い
 - ・省電力化はエンドデバイスのみ可能（コーディネータとルータは常時オン）
- ・クラスタツリー型ネットワーク
 - ・ルータデバイスを配置することで通信範囲拡張が可能
 - ・ビーコンによる同期型PANが可能（ビーコン衝突による通信遅延あり）
 - ・全てのZigBeeデバイスの省電力動作が可能
 - ・PAN内の障害で通信不可が発生





AO = Application Object

EP = Endpoint

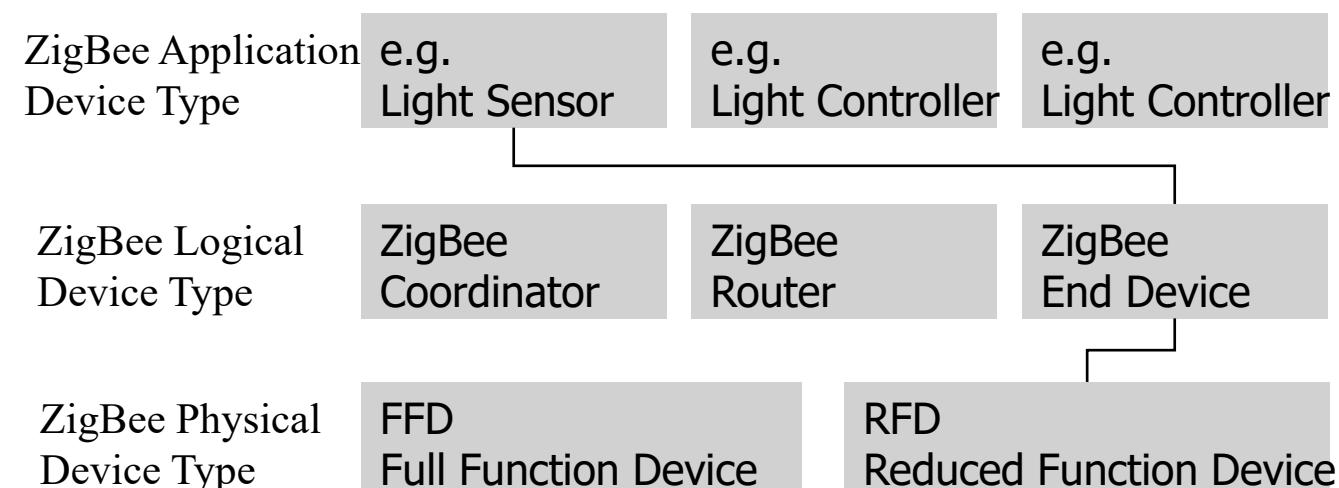
PI = AOD Public Interface





ZigBeeデバイスタイプ

- 各層は次のタイプに分類される
 - エンドユーザから見たデバイスタイプ
 - ネットワークで配置されるデバイスタイプ
 - ハードウェアプラットフォームのデバイスタイプ



- 通信形態には次の分類がある
 - ダイレクト通信
 - デバイス間直接通信でRFDはFFDとのみ通信可能（RFD間不可）
 - インダイレクト通信
 - RFD間唯一の通信手段
 - 受信側デバイスの状態にかかわらず送信可能であり、必要な時期にポーリングしてデータを受信できるため低消費電力化が可能





- MAC層で規定されている機能
 - スタート機能（ビーコン有り、 または無し）
 - 管理機能（Scan, PAN識別子衝突検出, Realignment）
 - PAN参加（Association）、離脱（Dis-Assoc.）
 - データ通信機能（直接送信, 間接送信）
 - 送達確認フレーム（ACKフレーム）のON/OFF
 - 同期維持（Beacon Tracking）
 - 同期外れ検出と再同期（Orphan Sync-loss）
 - CSMA-CAによる衝突回避機能
 - セキュリティ通信
 - 信号電波のエネルギー検出
 - デバイス間のリンク品質通達機能





ZigBee アプリケーション層

- ・ アプリケーション層
 - ・ ZigBeeでは相互接続性確保のためにアプリケーションごとにプロファイルを定義
 - ・ プロファイル・オブジェクトはエンドポイント番号で識別され、1台のZigBeeデバイスは複数のプロファイル（アプリケーション）を持つ
 - ・ 1台のZigBeeデバイスに最大240のエンドポイント番号が付与可能

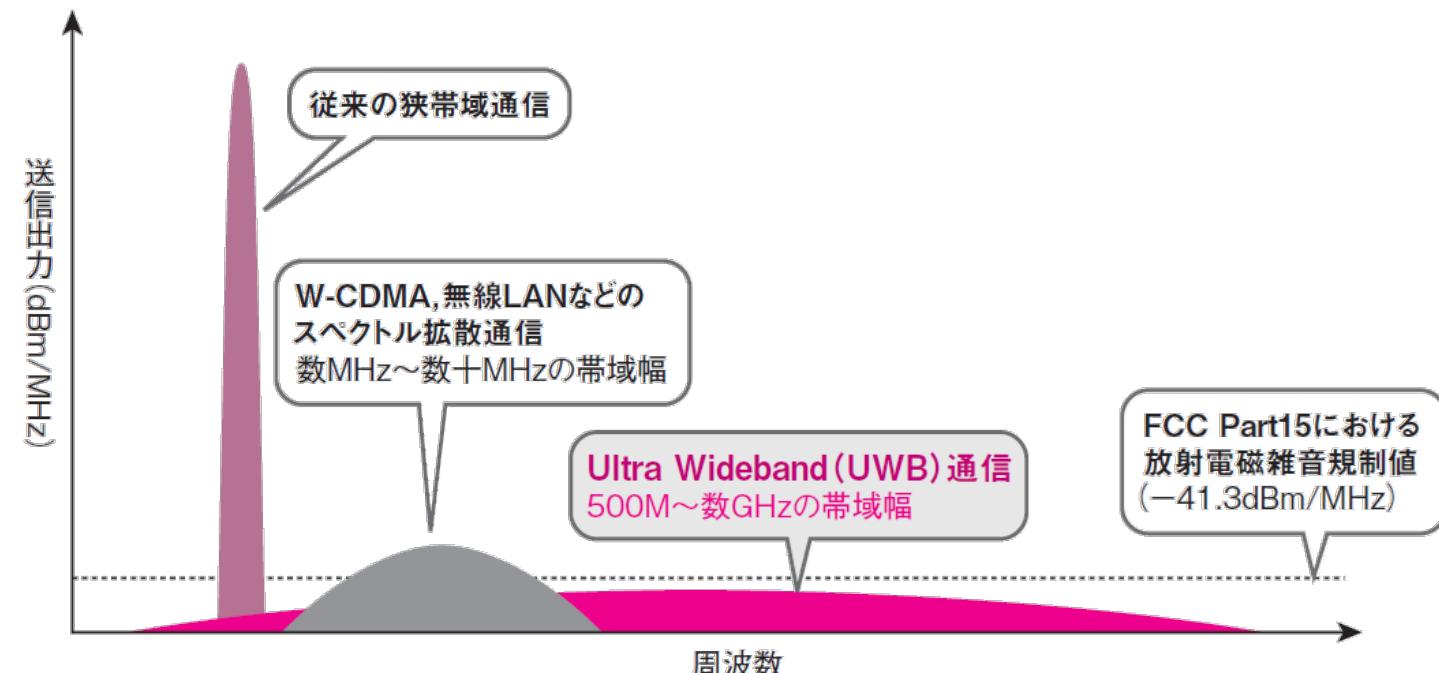
タイプ	識別子	プロファイル名
Standard	0x0000	ZigBee device profile
0x0001… 0x00ff	(reserved)	
0x0100	Home Control, Lighting	
0x0101	Industrial Plant Monitoring	
0x0102	Health, Ventilation, Air Conditioning	
0x0103	Test Profile	
0x0104… 0x7fff	未定義	
Published	0x8000…… 0xbfff	未定義
Private	0xc000…… 0x7fff	ベンダ使用





UWB (Ultra Wide-Band)

- 数GHzの帯域幅にわたって電力スペクトル密度の極めて低い信号を使って通信する無線システムの総称でPANを構成する
- 100Mビット/秒以上の超高速通信と高精度の測距が可能
- UWBの送信電力スペクトル密度は低く、パソコンから放射される不要輻射雑音レベルよりも低い
 - 原理的に他のシステムと周波数共用が可能





UWB標準化の顛末

91

- 当初は3.1～10.6GHz帯の全帯域で、インパルスラジオ方式で伝送する方式
 - IEEE 802.11a/gの5GHz帯を避け3.1～4.9GHzのLow Bandと5.8～10.6GHzのHigh Bandへ
 - Xtreme SpectrumがDSSS方式DS-UWB（Direct Sequence）を提案
 - IntelがMBOA（Multi-Band OFDM Alliance）2003年6月に設立、OFDM方式を検討
- 2003年10月TG3a（IEEE 802.15 WPAN High Rate Alternative PHY TG 3a）設立
 - 2003年3月TG3aで23提案が発表され、複数陣営の統合が進むが2陣営が衝突
 - FreescaleがXtreme Spectrumを買収DS-UWBを推進し2004年2月にUWB Forum設立
- TG3aはDS-UWBとMBOAの対決の場となり再審議連発、2006年1月に喧嘩別れ
 - 2005年3月にMBOAはWiMedia Allianceと合併、AV機器接続UWB化を狙う
 - DS-UWBは、2006年1月にCable-Free USB InitiativeでWireless USBを狙う
- その後、Bluetooth SIGがMB-OFDMのUWBを採用など、UWB Forumに逆風
 - 2006年4月にFreescaleがUWB Forumから脱退して決着、MBOAがスタンダード化するも全くはやらず、Wireless USBは2008年製品化されるが使い物にならず消滅、BluetoothはUWBの存在すらないがしろに
 - TG4aは時速約18km以上のモビリティを対象に分解能50cm程度の位置測位のDS方式で可決・標準化





- 1990年Ericssonで研究がすすめられ、10m程度の範囲で721kbps（EDRにより2Mbps、最新では8DPSKにより3Mbps）程度の情報を交換する規格、現在3,000社以上が参加している
- 2002年IEEE802.15.1（bluetooth ver1.1）が策定、2003年にはver1.2、2004年にはEDR（Enhanced Data rate）その後、v2.1+EDRが策定されている
 - 無線チャネル干渉の防止、SCO（Synchronous Connection Oriented）リンクでのデータ再送、初回接続時のコネクション短縮などが盛り込まれた

周波数帯域	2.4GHz ISMバンド
出力	1mW～100mW(10m～100m)
変調方式	FHSS
スループット	700kbps、2Mbps 音声:SCO 64Kbps、データ:ACL(ACL=Asynchronous Connection Less) 432.6kbps
周波数帯	13.56、UHF、2.45GHz





Bluetoothの代表的なプロトコル

オーディオ/ビデオ制御トランSPORT プロトコル (AVCTP : Audio/Video Control Transport Protocol)	A/V デバイスの制御メッセージを交換するトランSPORTメカニズム
オーディオ/ビデオ配信トランSPORT プロトコル (AVDTP : Audio/Video Distribution Transport Protocol)	A/V ストリームのネゴシエーション手順、確認手順、および伝送手順
Bluetooth ネットワーク カプセル化プロトコル (BNEP : Bluetooth Network Encapsulation Protocol)	IPv4 や IPv6 などを Bluetooth メディア上で伝送する
オブジェクト交換 (OBEX : Object Exchange)	2 台のデバイスがオブジェクトの交換に使用する
電話制御プロトコル (TCP : Telephony Control Protocol)	音声通話やデータ通話を確立するための呼制御シグナリング
RFCOMM (TS 07.10 標準)	シリアルの設定と、RS-232シリアルポートをエミュレートする





Bluetoothの多彩なプロファイル

高度オーディオ配信プロファイル (A2DP : Advanced Audio Distribution Profile)	ステレオ品質のオーディオをメディア ソースからメディア シンクまで流す
オーディオ/ビデオ リモート制御プロファイル (AVRCP : Audio/Video Remote Control Profile)	TV、ハイファイ設備などを制御する標準的なインターフェースを実現する
基本画像プロファイル (BIP : Basic Imaging Profile)	画像デバイスから画像と共に制御方法、印刷方法をストレージ デバイスに転送する
基本印刷プロファイル (BPP : Basic Printing Profile)	テキスト、電子メール、vCard、画像、または他のアイテムをプリンタに送信する
共通 ISDN アクセス プロファイル (CIP : Common ISDN Access Profile) [廃止]	Bluetooth 無線接続経由で ISDN シグナリングを転送する
コードレス電話プロファイル (CTP : Cordless Telephony Profile) [廃止]	Bluetooth 無線リンク上でコードレス電話を実現する
ダイヤルアップ ネットワーク プロファイル (DUN : Dial-Up Network Profile)	Bluetooth 技術を介してインターネットや他のダイヤルアップ サービスにアクセスする
FAX プロファイル (FAX : Fax Profile) [廃止]	端末デバイスが FAX ゲートウェイ デバイスを使用する
ファイル転送プロファイル (FTP : File Transfer Profile)	サーバー デバイス上のフォルダやファイルをクライアント デバイスから参照する
一般オーディオ/ビデオ配信プロファイル (GAVDP : General Audio/Video Distribution Profile)	A2DP と VDP の基礎として機能し、ビデオ ストリームとオーディオ ストリームを配信する
一般オブジェクト交換プロファイル (GOEP : Generic Object Exchange Profile)	デバイス間でオブジェクトを転送する
ハンズフリー プロファイル (HFP : Hands-Free Profile)	ハンズフリー デバイスで発呼および着呼する
ハード コピー ケーブル置換プロファイル (HCOP : Hard Copy Cable Replacement Profile)	ドライバに基づく印刷を実現する...
ヘッドセット プロファイル (HSP : Headset Profile)	Bluetooth 対応ヘッドセットが Bluetooth 対応デバイスと通信する
ヒューマン インタフェース デバイス プロファイル (HID : Human Interface Device Profile)	キーボード、ポインティング デバイス、ゲーム デバイス、リモート監視デバイス
インターロム プロファイル (ICP : Intercom Profile) [廃止]	2 台の Bluetooth 対応携帯電話が、公衆電話網を使用せずに相互に直接接続する
オブジェクト プッシュ プロファイル (OPP : Object Push Profile)	プッシュ サーバーとプッシュ クライアントを実現する
パーソナル エリア ネットワーク プロファイル (PAN : Personal Area Networking Profile)	2 台以上の Bluetooth 対応デバイスが臨時ネットワークを構築する
サービス検索アプリケーション プロファイル (SDAP : Service Discovery Application Profile) [廃止]	アプリケーションで SDP を使用してリモート デバイス上のサービスを検索する
シリアル ポート プロファイル (SPP : Serial Port Profile)	仮想シリアル ポートを設定して 2 台の Bluetooth 対応デバイスを接続する
同期プロファイル (SYNC : Synchronization Profile)	GOEP と連携して、カレンダー情報やアドレス情報 (PIM項目) を同期する
ビデオ配信プロファイル (VDP : Video Distribution Profile)	ビデオを流す





皆さん気が気にするのはA2DPで何を送るか

95

- Bluetooth A2DPコーデック一覧
 - SBC : A2DP標準コーデック、Bluetooth A2DP対応の全ての機器で利用可。事実上64～約200kbps
 - AAC : 元々はiTune Storeのフォーマット。Apple社のBluetooth機器で広く採用。実質最大320kbps。
 - aptX : クアルコム社に買収されたCSR社が開発。実質最大384kbps
 - aptX HD : aptX同様、CSR社が開発。aptXより高い実質最大576kbps
 - LDAC : ソニーが開発。主にハイレゾ等の高音質音源の接続用途。実質最大990kbps
- mp3/AACなどは～320kbps、CD(-DA)は1,411kbpsの帯域を有する





Bluetooth Low Energy

96

- ターゲットとしているマーケット
- Sports and Fitness
 - 心拍計測ベルト、歩数計などスポーツモニタリング
 - 腕時計型高度計などのスポーツセンサ内蔵機器
- Healthcare
 - 血圧計、体重計などのヘルスケア機器
 - 血糖値計、脈酸素濃度計などの病気治療
- Home and Entertainment
 - 携帯音楽プレーヤなどのリモコン
 - ゲーム機用センサ
 - 照明、空調などのホームセンサ
- Automotive
 - タイヤ空気圧などのモニタリング
 - 腕時計内蔵型キーレスエントリ
- Mobile and Office Accessories
 - 携帯電話アクセサリ
 - ワイヤレスマウスなどのPCアクセサリ
- Watch/wrist wearable devices
 - 携帯電話、携帯音楽プレーヤ用のリモコン
 - 携帯電話のサブ・ディスプレイ
- 携帯電話置き忘れ防止などのトラッキングデバイス





短距離無線

- 特定小電力無線

- 1992年の旧微弱無線規格の廃止に伴って登場
- 電波産業会（ARIB=Association of Radio Industries and Businesses）のARIB-STD-T67で規定、当初はトランシーバなどレジヤー用途、現在業務用途が増加
- 特徴：免許・資格や電波利用料金が不要で通話チャネルを自由に切り替え可能

- 微弱無線

- 移動体検知センサ・ミリ波レーダ・データ転送などの短距離無線として利用
- 特徴：周波数・変調方式を問わないなど、特定小電力無線よりも自由度は高いがサービスエリアは狭い

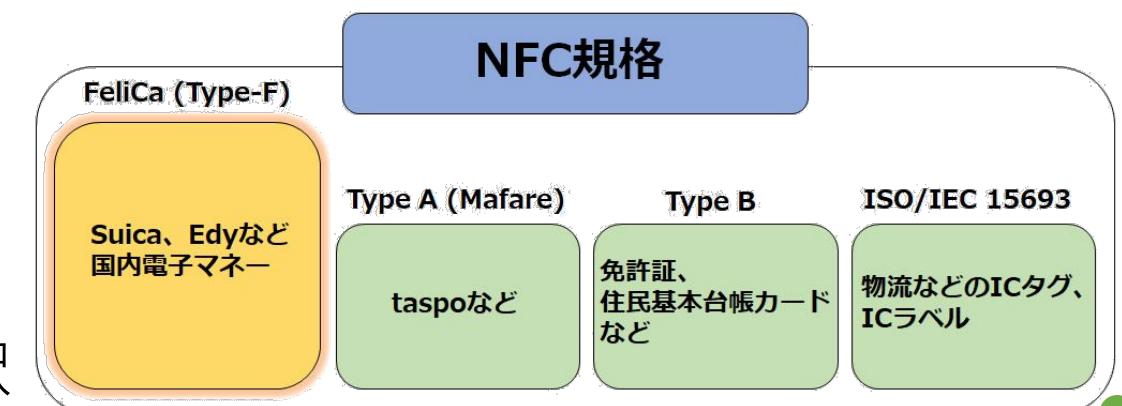
方式	特定小電力無線	微弱無線
伝送速度	2.4kbps	2kbps
周波数帯域	429MHz	307.74MHz, 316.74MHz
伝送距離	30～300m	30～50m
消費電力	59mW/0.3mW	66mW/3.3mW



NFC (Near Field Communication)

98

- 2002年にソニーとフィリップスが開発、2003年ISO/IEC IS 18092 (NFCIP-1)として標準化
 - NXPセミコンダクターズ社（旧フィリップスセミコンダクターズ社）・ノキア社・ソニーが設立メンバーとなり、業界標準団体NFCフォーラムが発足
 - Suica、ICOCA、PASMO等非接触カードへの応用で著名
 - 非接触ICカードの国際標準規格ISO／IEC 14443に規定されるType-A, Type-Bの通信技術を、それぞれNFC-A, NFC-B、JIS X 6319-4にもとづくFelicaの通信技術をNFC-Fと称し、NFCフォーラムでは、NFC-A, NFC-B, NFC-Fの3つの通信技術を等価に扱う互換仕様開発が行われている。
 - ISO／IEC 21481 (NFCIP-2) ではNFCIP-1、ISO／IEC 14443に加え、ISO／IEC 15693を包含
- 緒言
 - 利用周波数 13.56MHz
 - 通信距離 10cm (双向通信)
 - 通信速度 106、212、424kbpsから選択





DSRC (Dedicated Short Range Com.)

99

- ETCによる自動料金徴収や走行支援システム（AHS=Advanced Cruise-assist Highway Systems）などの応用で著名
 - ARIB-STD-T75で標準化、光を利用する規格も存在
 - 同一スポット内で8台程度の端末を同時運用できる
 - VICS・ETC・インターネット接続などの統合を目指している
- 緒言
 - 周波数 5.8GHz帯の14波
 - 変調方式 ASK変調方式か QPSK（4相移送変調方式）
 - スループット 1Mbps・ASKか4Mbps・QPSK
 - 通信距離 数mから数百m
 - 空中線電力
 - 300mW以下（基地局）
 - 10mW以下（陸上移動局）

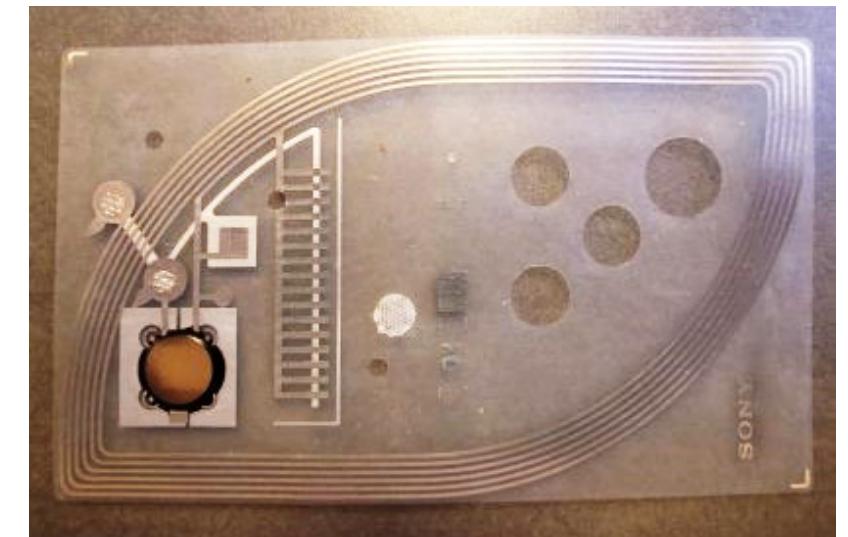
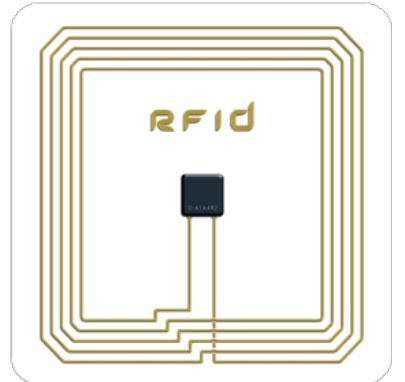




RFID

100

- 無線で認証を行う機能メディアのこと
 - Radio Frequency Identification
 - モノの管理や追跡を行うのはICタグ
- バーコードとの違い
 - ユニークIDにより单品管理が容易（基本的にはバーコードは印刷で同じコード）
 - 追記・書き換えが可能
 - 同時に複数のIDを読み取り可能
 - 表面や見える位置になくても読み取り可能
- 特に人が持つRFIDを非接触ICカードと呼ぶ
 - フェリカポケットカード(SUICA)もRFID





- ICタグや無線タグ、電子タグと呼ばれる機器に利用されており、トレーサビリティを高める技術として著名
- 通信距離は1～100cm
- 非常に小さいため衝撃に強く、経年変化が少ない
- 電源を搭載している場合と搭載していない場合がある
 - 反射型RFID
リーダ・ライタからの搬送波に情報を載せて反射することで通信
 - 反射型パッシブRFID（電池を搭載していない）
 - 反射型セミパッシブRFID（電池を搭載している）
 - アクティブRFID
電池と発信機を搭載している
- 通信方式
 - 電磁誘導方式、電磁結合方式、電波方式、光





RFIDの応用例

102

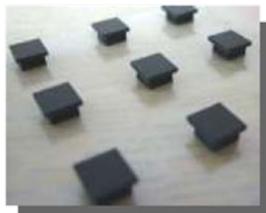
品質の確保 ドラム缶/コンテナ容器



工業用ICタグ



超小型ICタグ
金属対応型



金属対応ICラベル

学習塾用所在配信システム

学習塾やスポーツクラブなど、お子様の所在確認に



入退室をICタグで管理、保護者の携帯電話やパソコンにメールでお知らせします。お子様の所在確認システムとして運用を開始しました。

ストラップタグ



カードタグ



登下校見守りシステム



http://mytown.asahi.com/osaka/news.php?k_id=28000210604270001





UID (Unique Item iDentification)

103

- タグを一意に識別するためのID
 - 国際標準としてEPC (Electronic Product Code)
 - その他ユビキタスIDセンタが提唱するuicodeがある

Header	Service ID	Application data
設立時期	米拠点は1999年	2003年
設立母体	MIT	T-Engineフォーラム
IDの長さ	96bits	128bits
周波数帯	13.56、UHF、2.45GHz	13.56MHz、2.45GHz等
リーダ・ライタ	EPC標準(Philips、Motorola、TI)	T-EngineとeTRON
セキュリティ	利用者が無線機能をオフする	eTRONによるリアルタイムPKI等

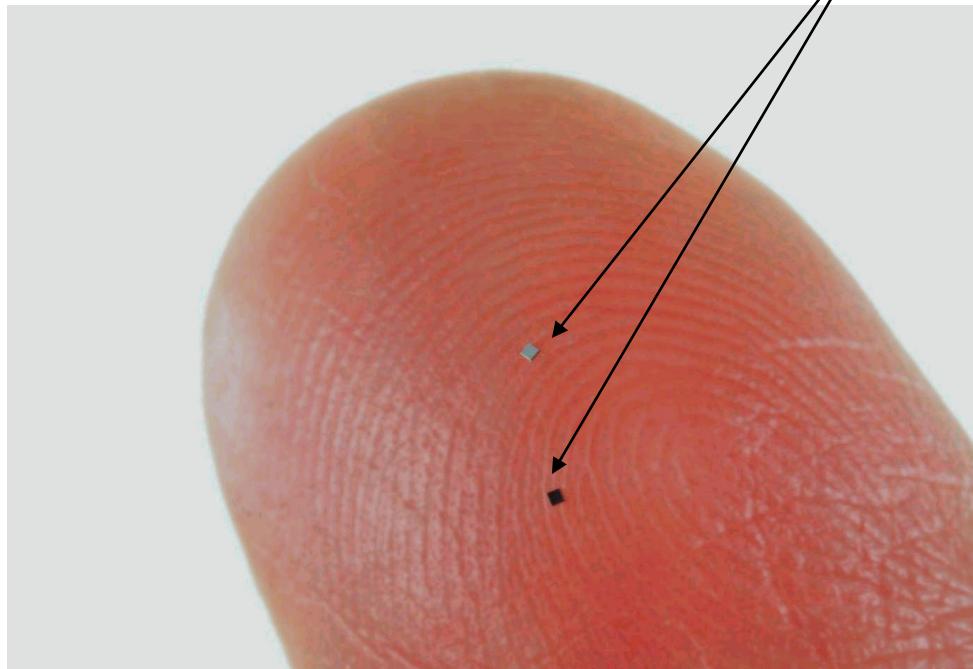




超小型RFIDチップ：ミューチップ

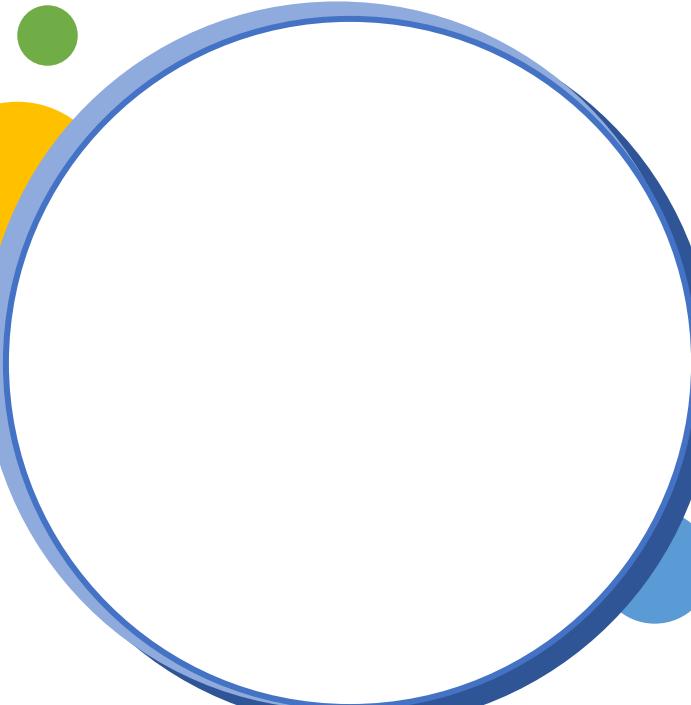
104

- 0.4mm角で128bitの情報を保持
- 2.45G帯を利用
- 無線電源供給
- 書き込み不可



ミューチップ





上位層

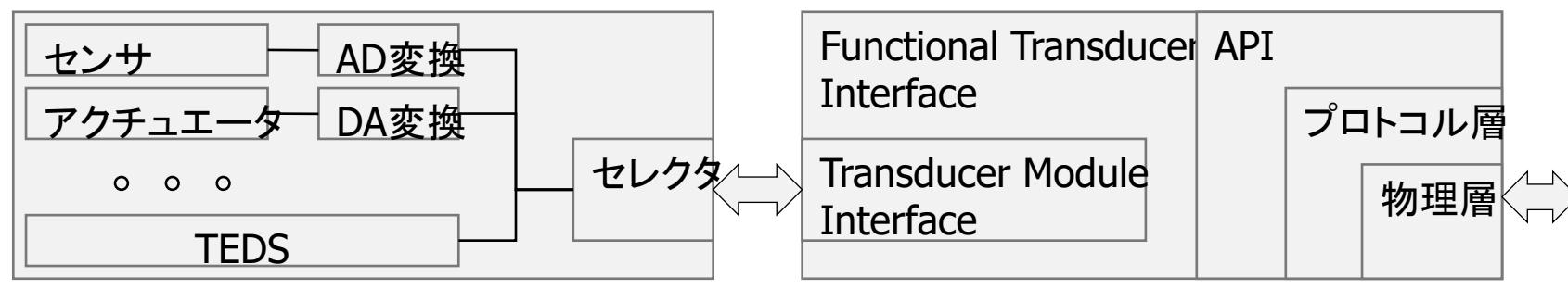




センサデバイス間インターフェース：IEEE1451

106

- 1993年IEEE TC-9により検討開始、1995年IEEE P1451策定
- IEEE1451.4 TEDS (Transducer Electric Data Sheet)
 - センサに埋め込んだEEPROMにキャリブレーションやスケーリング情報を保持
 - 計測器に接続するだけで自動的に初期設定を行うことができる
- STIM (Smart Transducer Interface Module)
 - センサおよびアクチュエータをネットワークに接続するためのインターフェース仕様
- NCAP (Network Capable Application Processor)
 - 実際にネットワークと接続を可能とする
- TII (Transducer Independent Interface)
 - NCAPとSTIMの間に存在



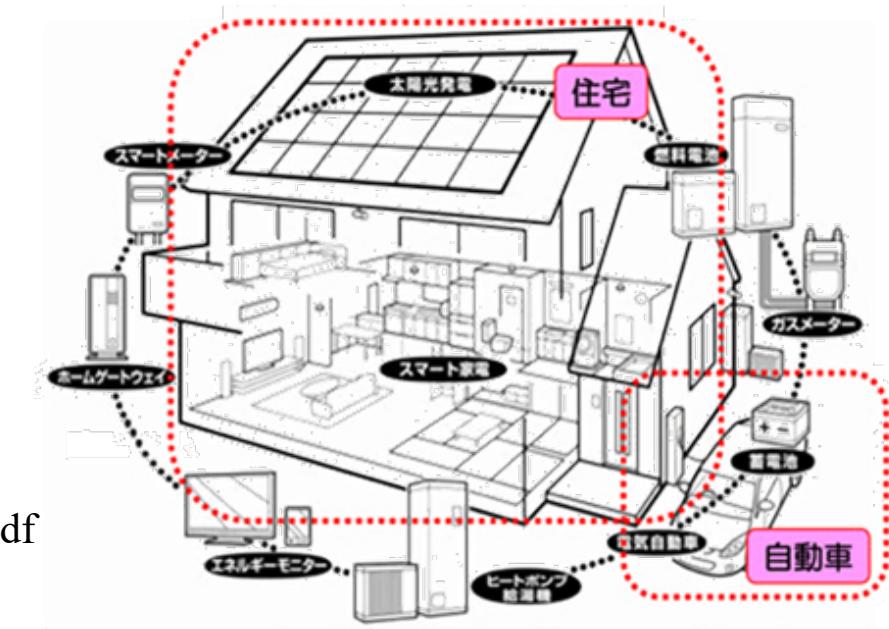


- 情報家電をホームネットワークに接続し様々なサービスを提供するためのプロトコル群
 - 音楽・写真・ビデオなどのデジタルコンテンツを家電・PC・携帯端末間で共有
 - 公開された業界標準をベースとした設計ガイドラインを作成することで新しい標準規格の策定を目的としている
 - 機器間で通信するための手順 (UPnPなどのプロトコル) や、ユーザインターフェース、コンテンツのフォーマット (MPEG2、JPEG、等々) などを定めている
- DTCP-IP
 - DTCP-IP(Digital Transmission Content Protection over Internet Protocol)は、コンテンツを暗号化することで、コンテンツの不正コピーを防止する
 - 日本のデジタル放送番組は、機器から機器に伝送する場合、DTCP-IPに従って、送信側で暗号化し、受信側で復号化することが求められている
 - テレビ番組録画はDLNAサーバーとDLNAクライアントの双方が、DTCP-IPに対応している必要がある
 - テレビ／レコーダーの会社はDTCP-IP対応のDLNA機能を独自名称で呼んでいる
 - Panasonic(お部屋ジャンプリンク)、東芝(レグザリンク・シェア)、Sony(ソニールームリンク)





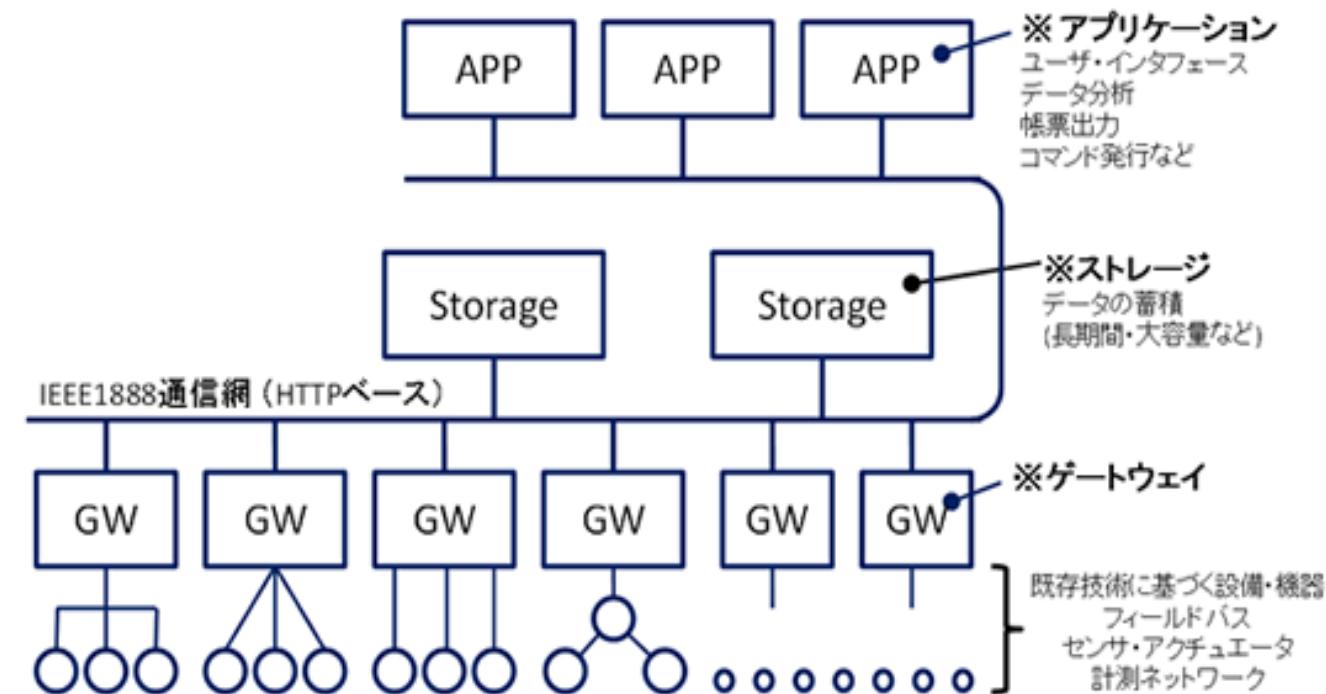
- JSCA（スマートコミュニティアライアンス）で議論
- HEMS（家庭向けエネルギー管理システム）での利用を中心に、標準化されたプロトコル
 - 各種センサ、空調機（こたつ・あんか・電気カーペット・扇風機・電気毛布など）
 - 住宅設備（太陽光、窓、シャッター、ゲート、ブザー、ドア、散水機、湯沸し器、ポンプ、電子錠、エレベータ、サウナ、浄化槽、電動物干し）
 - 調理機（ポット、コンロ、餅つき機、食器洗い、炊飯器電気蚊取り器、自動製パン機）



http://www.echonet.gr.jp/spec/pdf_spec_app_e/SpecAppendixE.pdf



- ・次世代BEMSやスマートグリッド向けに開発された通信規格であり、2011年2月に標準化、FIAPSとも呼ばれる
- ・通信方式にHTTPとXMLを採用



Ref. 東大グリーンICTプロジェクト <http://www.gutp.jp/fiap/>





演習問題（2）

110

センサーネットワークに関する次の問題に答えなさい

(2-1) LPWA(LowPower WideArea)の特徴として適切なものはどれか

- 2線だけで接続されるシリアル有線通信であり同じ基板上の回路及びLSIの間の通信に適する
- 60GHz帯を使う10mといった近距離無線通信で4Kや8K映像など大容量データ伝送に適する
- 電力線を通信に使う通信技術でスマートメータの自動検針などに適する
- バッテリ消費量が少なく一つの基地局で広範囲をカバーできる無線通信技術であり複数のセンサが同時につながるネットワークに適している

(2-2) ZigBeeの説明として適切なものはどれか、2つ選びなさい。

- 2.4GHz帯を使用し、1つのマスタと最大7つのスレーブからなるスター型ネットワークを構成する
- 5.8GHz帯を使用する近距離無線通信方式で、ETCなどで利用されている
- 下位層にIEEE 802.15.4を使用する低消費電力の無線通信方式
- 広い周波数帯にデータを拡散する高速伝送無線通信方式で、近距離の映像や音楽配信に利用
- モバイル端末とヘッドセットなど周辺機器との接続といった近距離の無線通信として使われ、プロファイルにより規定されている
- 赤外線を利用する無線通信でテレビやエアコンなどのリモコンに使われる
- 低消費電力で低速の通信を行い、主にセンサネットワークなどに使われる
- 連絡用、業務用などに利用される小型の携帯型トランシーバに使われ、免許・資格や電波利用料金が不要である。ソフトバンクが当該規格が利用していたプラチナバンド取得のため、利用端末を全て有償交換した経緯がある

(2-3) 上記で選択した以外の選択肢はどの規格について述べた文章か、それぞれ答えなさい



演習問題（2） 続き

111

注意事項

- これらの設問に対する回答を、Microsoft Wordファイルで作成
- keio.jpで提出すること
- A4 1枚で作成すること
- 最初にタイトルとして「演習問題（2）」と書き、名前と学籍番号を記載すること。
このフォーマットに従っていないレポート答案は受け取らない。
- 締め切りは7月頭であり、詳細はkeio.jpを確認すること



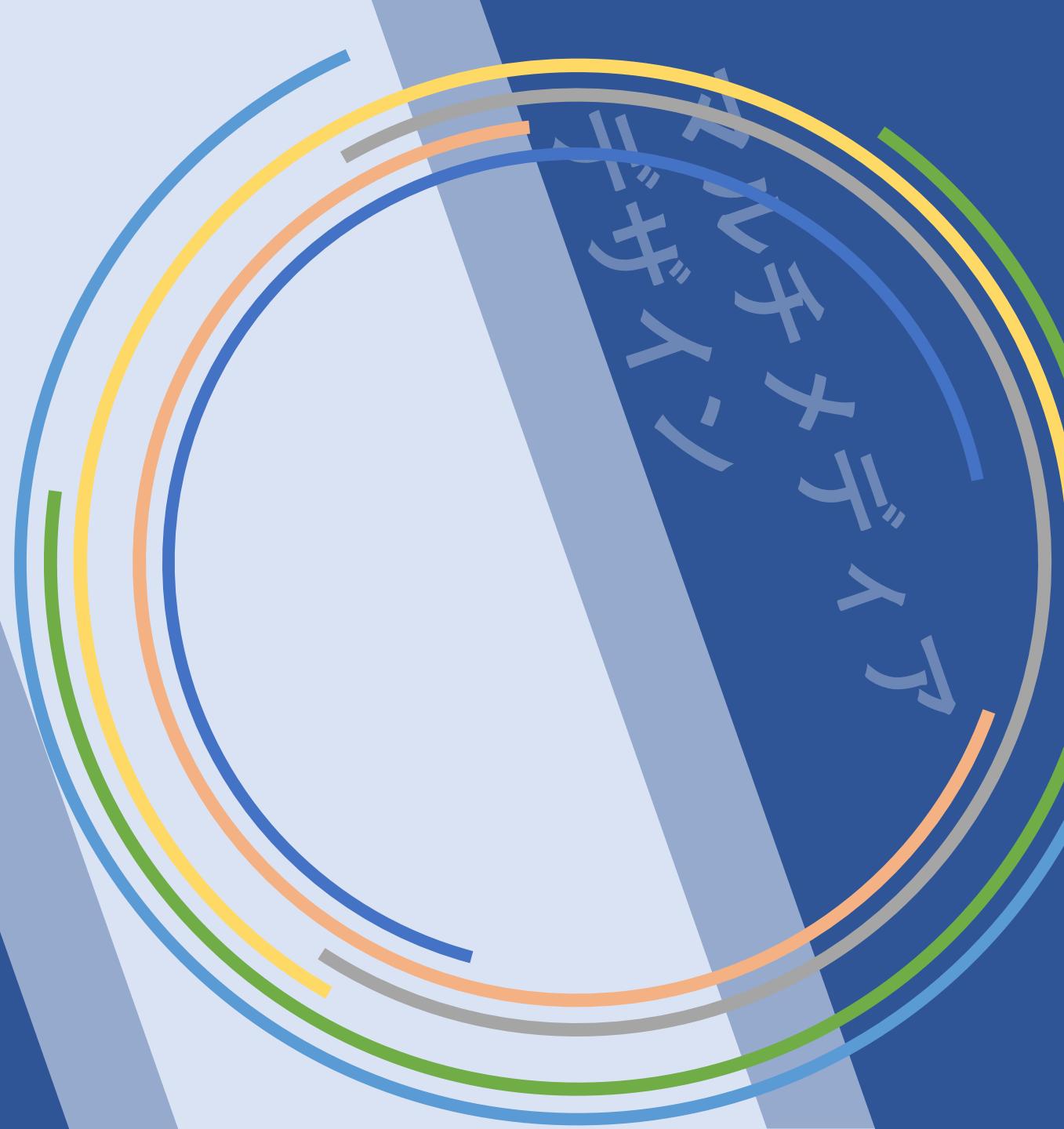
この授業のスライドはkeio.jpで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ

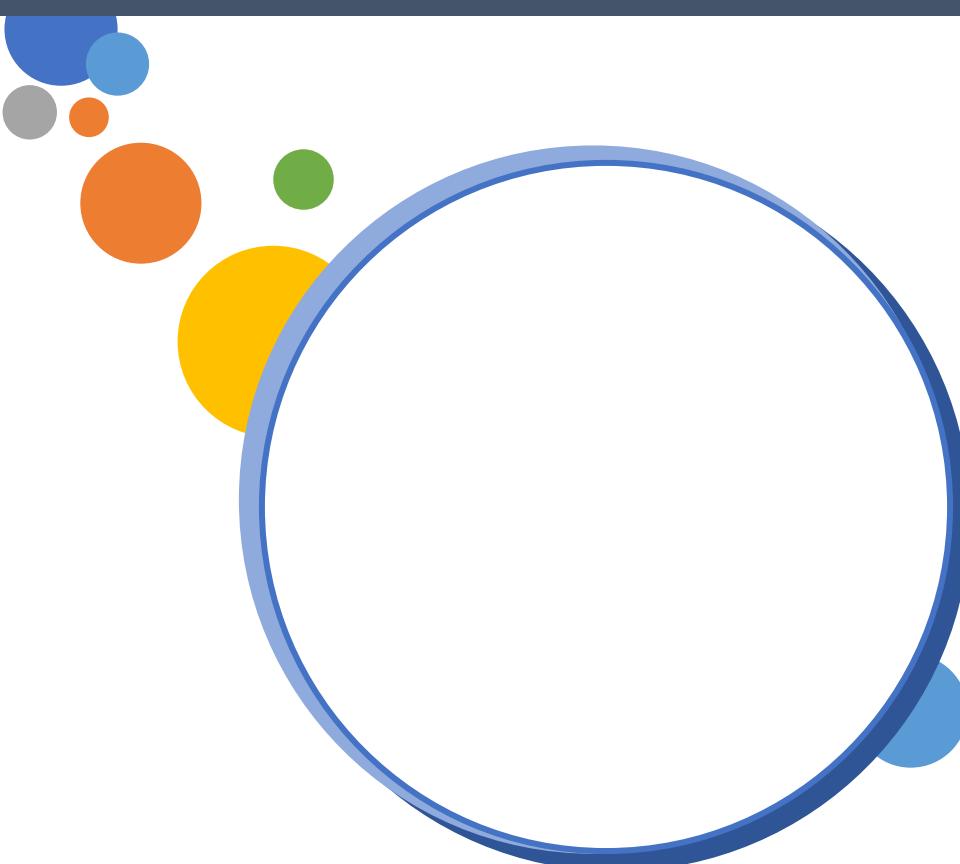
<https://keio-st-multimedia.slack.com>



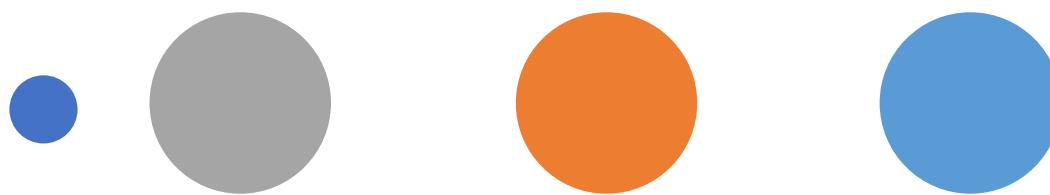
#5 プラットフォーム 周辺技術

担当： 西 宏章





プラットフォーム





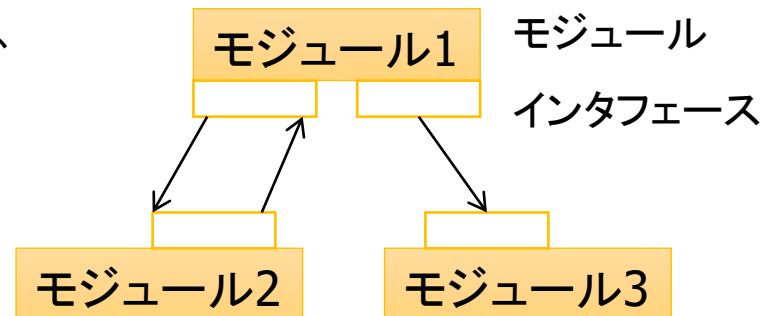
センサネットワークノード向けマイコン

115

- 8bit/16bit程度のレジスタ、数MHzから数百MHz程度の組み込み用プロセッサがよく利用される
 - 低消費電力が求められるため、周波数を低く抑えるか、超低周波数動作によるスリープモードを備える
 - Microchip PIC、Atmel AVRなど、通常のPC用プロセッサとは異なり、FLASHを内蔵し、A/Dコンバータや、I2Cインターフェースを備えるなどセンサ親和性が高い
 - TI MSP、DALLAS/MAXIM DS80(Java VM)、ルネサス H8/SH、TORONなどが著名で、処理能力が求められる場合にはARMやXscaleといったPDAなどに用いられるプロセッサが利用される
- 近年では、より高い処理能力が求められる場合ARMなどの利用も進んでいる



- ・一般にOSは搭載せず、直接I/Oを操作する单一実行バイナリがあることが多い
 - ・開発環境や基本ライブラリが充実しており、OSを介さずとも割り込みによるイベントドリブンのプログラミングパラダイムを利用したシステムを構築できる
 - ・SUNマイクロシステムズによるJAVAを利用したシステムもOSを利用しない
 - ・ARMなどでは、ネットワーク親和性と移植性を重視しμCLinuxが利用される場合がある
- ・軽量なセンサノードではTinyOSが著名（独自すぎて普及していない）
 - ・センサネットワークシステムの目的は外部状態の測定であり、限られた資源で測定データを送信
 - ・そこで、測定と通信を並列で実行できるように資源共有
 - ・プログラムをロードして実行することができないため、カーネル空間保護機能はなく、ユーザという概念もない
 - ・アプリケーションプログラムはその構成要素（モジュール）を接続したグラフで表現し、モジュール間の双方向接続（インターフェース）を呼び出し（コマンド）とその受信（イベント）によりモジュール間通信を行う
 - ・一連の処理はタスクと呼ばれ、イベントドリブンで複数のタスクを実行する
 - ・サスPENDすることなく実行され(run-to-completion)、実行の横取りは行われない(no-preemption)



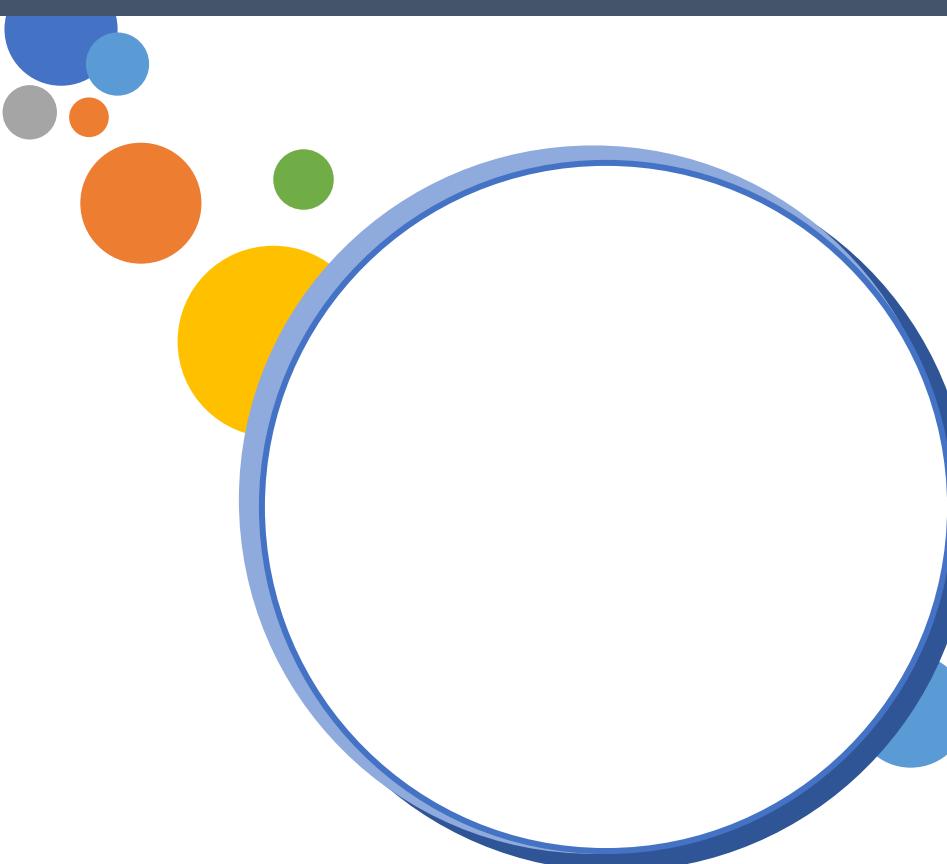


マイクロノードとIPv6

117

- PCの仲介なくインターネットに直接接続する
- 8bit/16bit CPUにIPv4, IPv6のディュアルスタック、UDP、TCP/IPをサポートし、中にはJavaサポートをするプラットフォーム
- メリット
 - グローバルスタンダード
 - 情報システムと連携
 - 通信コストの低減
- 一つの問題
 - IPv6はセンサネットワーク親和性が高い？本当か？
 - センサネットワークはIPv6のキラーアプリケーション足りえるか？





周邊技術

- ・センサネットワークに関する研究で最も重要なのは電源をどのように獲得するかである
- ・電池で長時間駆動できるように低消費電力化や通信量の削減、スリープ時間の拡大などが議論されている
- ・太陽光（蛍光灯）発電や、風力等を利用した定常的な自己発電機能を備えたセンサノードが現在主流
 - ・Solar Biscuit
- ・ワイヤレスではなくワイヤーを利用した電源供給と通信の両立という考え方も根強い
 - ・Pushpin Computing
 - ・Network Surface





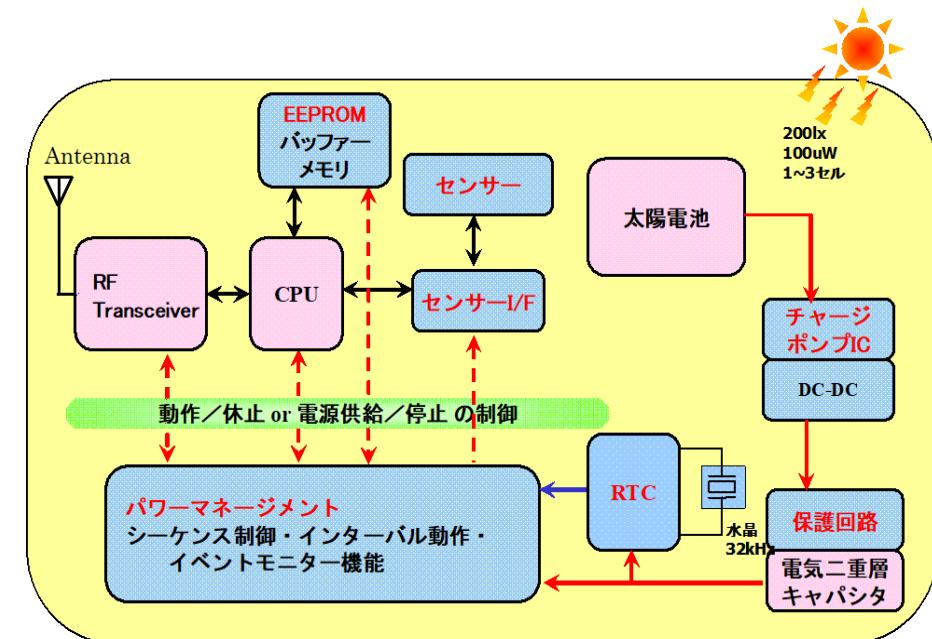
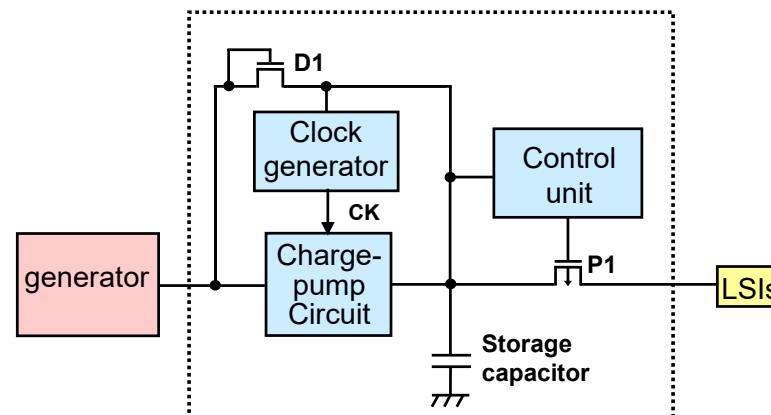
エナジーハーベスティングへの道

120

・バッテリレス・センサノード

- 「昇圧し、蓄え、必要なときに出力」

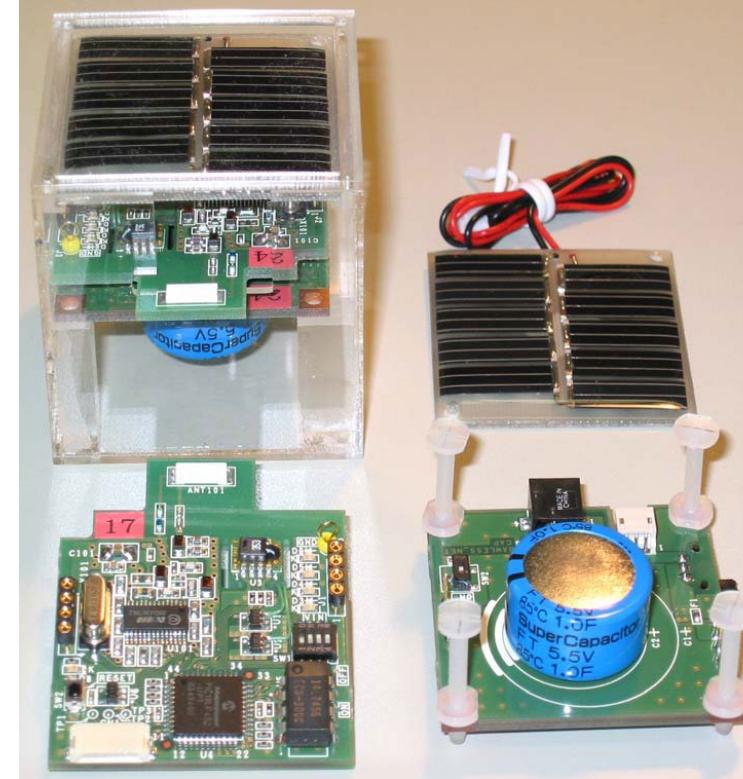
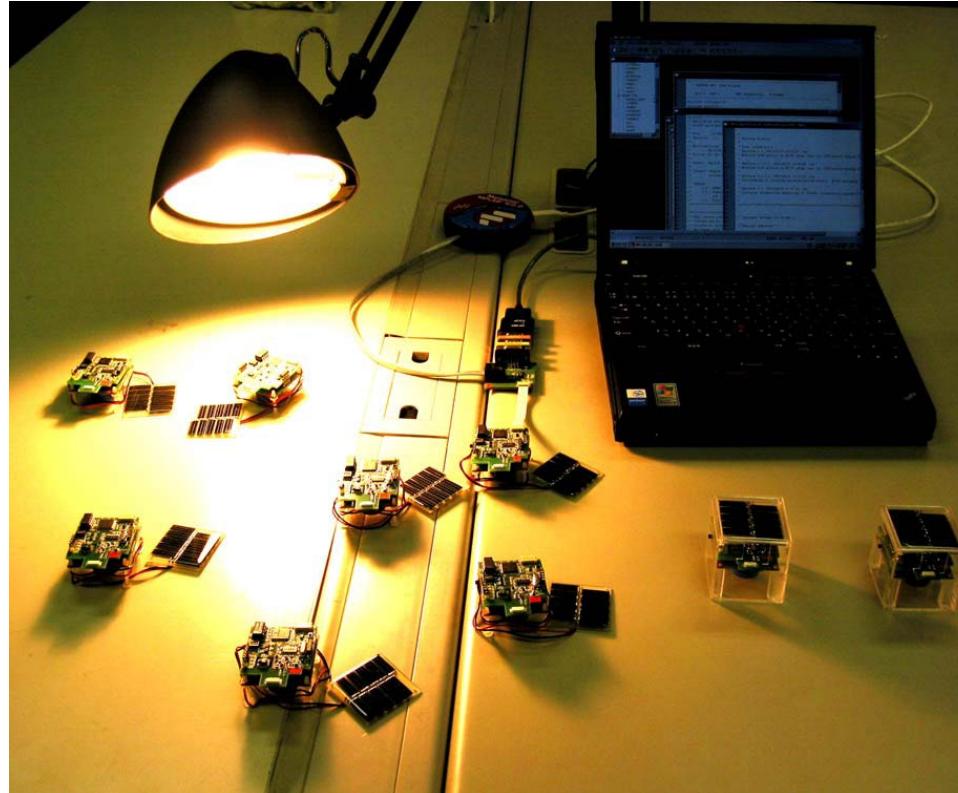
- 設置された環境下での効率的な発電と蓄電技術
- 非常に低消費電力で動作するデバイスで構成（センサ、無線IC、CPU）
- 間欠動作をはじめとするきめ細かなパワーマネジメント





Solar Biscuit

121



環境モニタリング用 バッテリレス無線センサネットワークシステム
太陽電池による発電電力を電気二重層キャパシタで蓄電

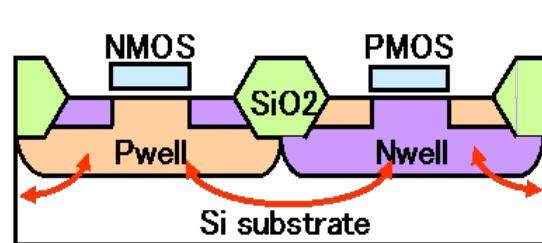
<http://www.lisa.ele.shibaura-it.ac.jp/PDF/conf/0408minami-mobiquitous-demo.pdf>



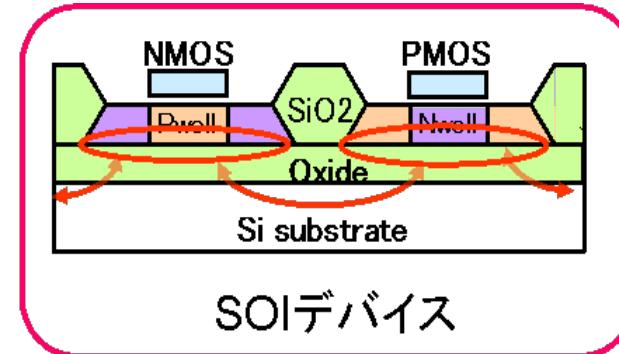


バッテリーレスセンサノードの技術

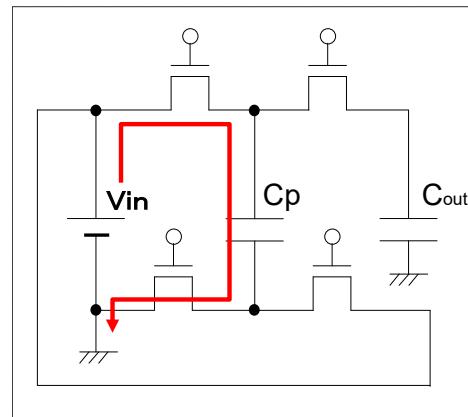
122



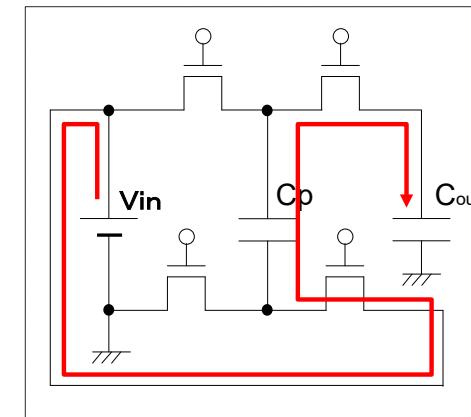
これまでのデバイス



SOI(Silicon on Insulator)デバイス
リーク電流の低減・接合容量の削減による
低消費電力、高速、低ノイズ
スピントロニクス応用



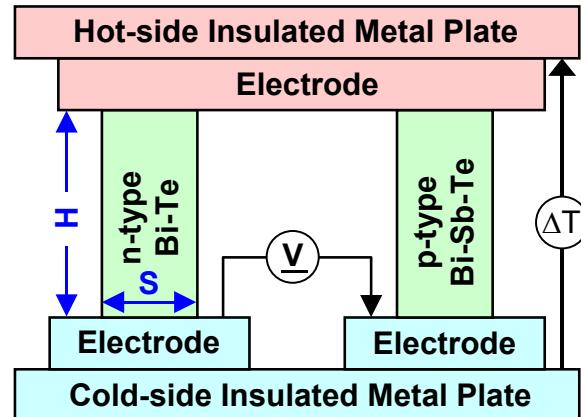
Charge cycle



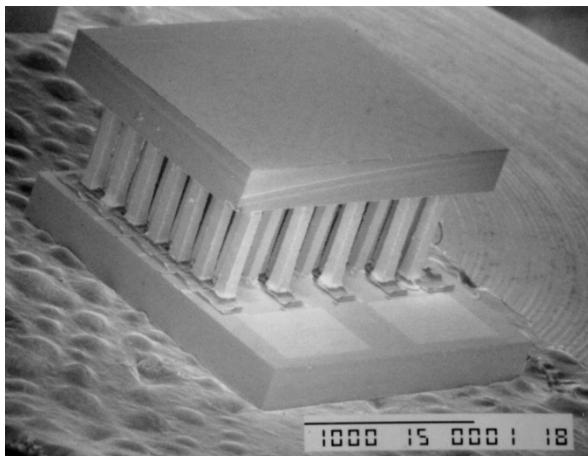
Discharge cycle

チャージポンプ方式
発電電圧が低い場合でも昇圧して利用可能
とする
RS232Cインターフェースでは古くからある技術



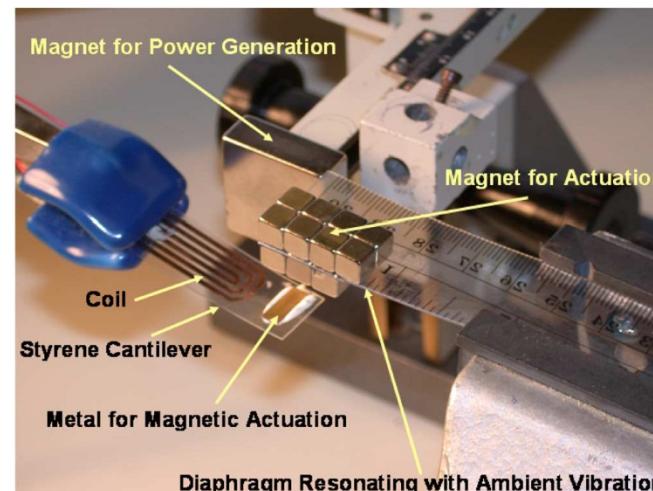
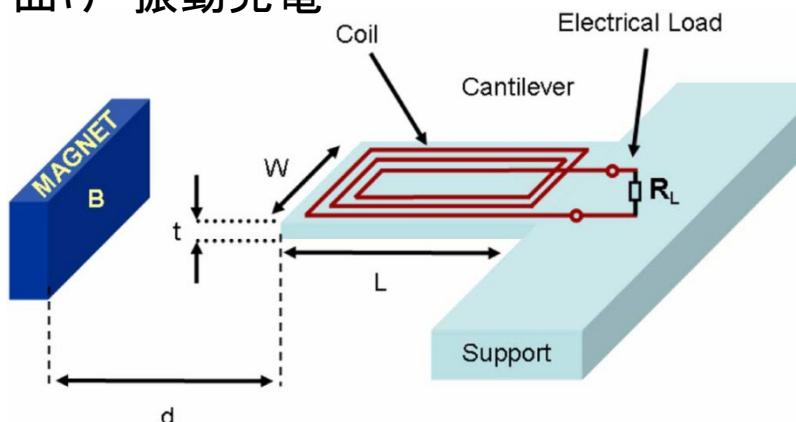


熱電変換素子の構造断面図

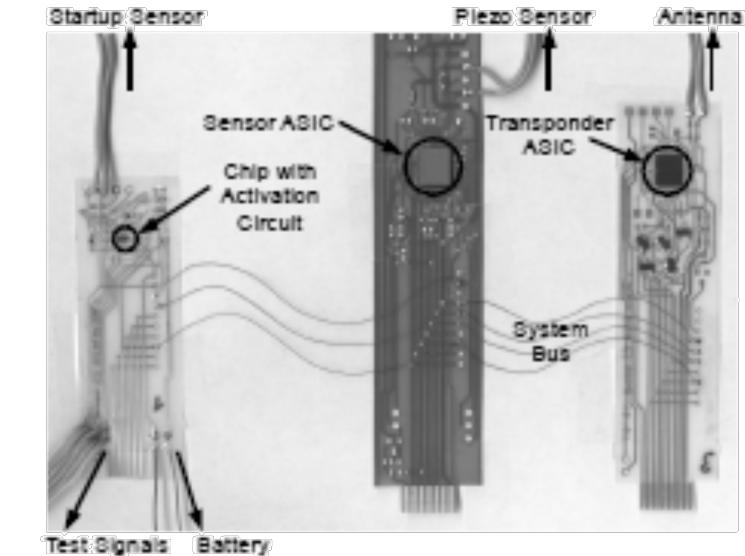


超小型熱電素子のSEM写真
(200μV /K) 104: 世界最小

曲げ・振動発電



H.Kuelah, et al., "Energy Scavenging from Low-Frequency Vibrations by Using Frequency Up-Conversion for Wireless Sensor Applications", IEEE Sensor Jounal, Vol.8, No.3, pp.261-268, 2008.



低消費電力型即時応答対応センサネットワークシステム (2007 IEEE)

K.-U. Roscher, et al., "Integrated Sensor Network with Event-Driven Activation for Recording impact Events in Textile-Reinforced Composites", Proc. IEEE Sensors 2007, pp128-131



さらなる延命処理・適応型トポロジ

124

- 必要となるセンサノード数よりも多いセンサノードを投入し、必要数だけリスニング状態に移行することで全体の延命をはかる
- この場合にもトレードオフが存在する
 - スリープ状態のノード数が少ない場合、省電力の観点から効率が悪く、通信輻輳の発生確率も増大するため通信エラー率が増大する
 - スリープ状態のノード数が多い場合、アクティブノード間距離が延びるため通信エラー率が高くなることや送信電力が増大するなどの要因によりライフタイムが減少する





TDMAによる効率運営

125

- 電力資源温存のために、なるべくスリープ状態であるべき
 - 定められたタイミングで測定・通信状態に復帰し他のノードと同期をとって情報を交換する
- スケジューリング方式
 - あらかじめどのノードがいつ復帰するかを定めておく
 - ノード数が動的に変化するセンサネットワークでは利用が困難
- コンテンション方式
 - あらかじめ定められたタイミングで全体が復帰する
 - IEEE802.11には、アイドルリスニング時間を減少させる仕様が存在
 - アドホックトラフィック発生通知メッセージ（ATIM:ad-hoc Traffic Indication Message）を受信したノードはデータが送信されるのを待機し、それ以外のノードは休止状態に移行する





クラスタ化による効率運営

126

- TDMAをセンサネットワークで効率よく運営する場合、時刻同期を行うドメイン内のノード数を限定し、複数のドメイン（クラスタ）に分けて管理する方が望ましい
- 各クラスタでの情報集約ノード（クラスタヘッド）がまとめてセンタサーバに情報を集約する
 - クラスタヘッド数にはトレードオフがある
 - クラスタヘッドが少ないと遠距離通信が必要となるため電力消費量が増大する
 - クラスタヘッドが多いとスリープ状態に移行できる時間が少なくなるため電力消費量が増大する
 - クラスタヘッドの決め方も様々存在する
 - 順番に割り当てる
 - 電力消費順
 - 経路を勘案

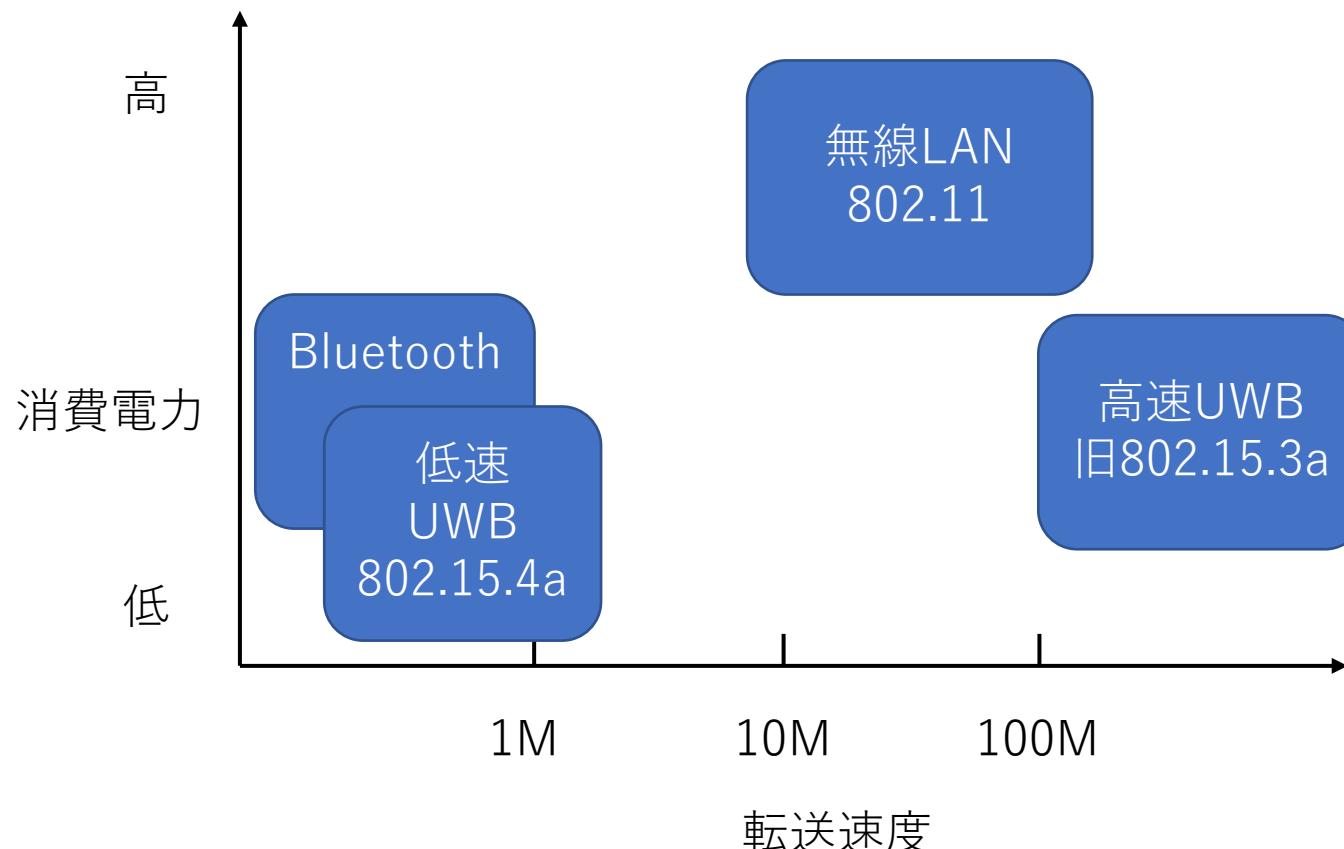




無線による測距・測位

127

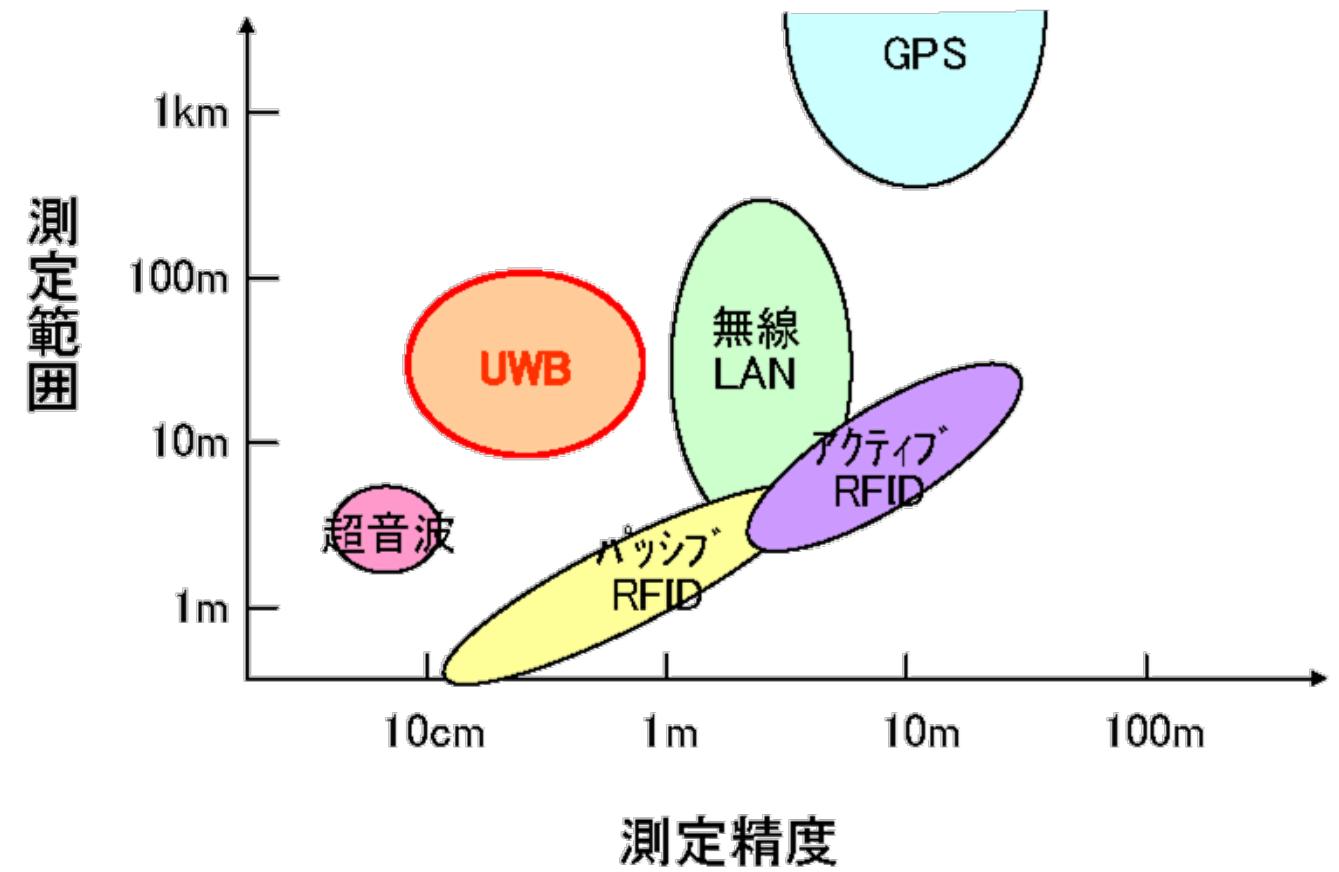
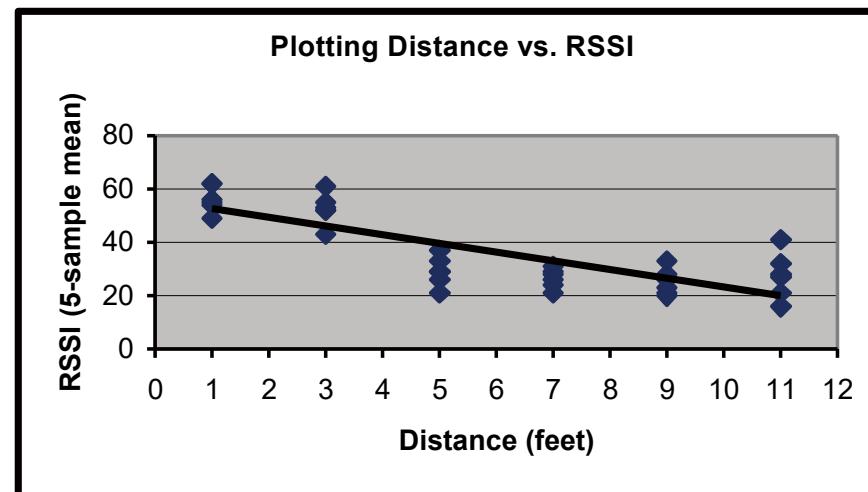
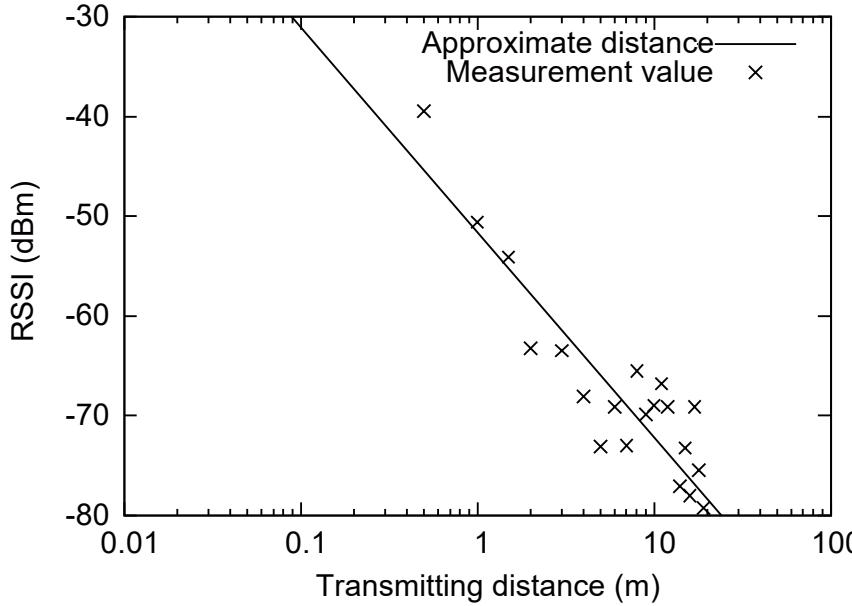
- RSSIにより距離を計測（ただし誤差が大きい）
- 超広帯域無線技術UWB(Ultra Wideband)の利用により100Mbpsの高速通信と誤差数cmの測距を実現（高周波ほど誤差は小さくなるが伝搬距離が短くなる）





RSSIと距離

128





無線による測距

名称	微弱無線	特定低省電力無線	Bluetooth	ZigBee	低速UWB	無線LAN	高速UWB
規格	独自	独自	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4	IEEE802.15.4a	IEEE802.11.a/b/gなど	IEEE802.15.3a
周波数帯	300MHz帯	500MHz帯	2.4GHz	2.4GHz	3.1～10.5GHz	5.2GHz	10.6GHz
通信距離	30m	30～300m	10～100m	10～70m	10m	100～500m	1～10m
伝送速度	10kbps	10kbps	1Mbps	250kbps	数100kbps	100Mbps	480Mbps
消費電力	数10mW	数10mW	100mW	数10mW	10mW	数100mW	100mW
測距制度	無し	無し	無し	(数m)	数10cm	(数m)	無し





ローカライゼーション

130

- センサネットワークと通常のネットワークの違いは、実世界からの情報を扱うこと
インターネットではサーバの場所はあまり重要ではないが、センサネットワークは「場所の情報」が重要と
 - 位置を取得することは、センサネットワークにおいてもっとも重要なかつ困難な課題
- 位置情報取得手段
 - GPS (Global Positioning System)
10m程度の精度で位置情報を取得可能であるが、精度が十分ではないアプリケーションも多く、また屋内では利用できない
 - 携帯電話等の受信モジュール 10m 準天頂衛星システムで数cm
 - リアルタイムキネマティック測位 数10cm、UWBで数cm
- レンジベース手法 (Range-based)
 - ノード間距離をRSSIなどで測定し、その情報から位置を「直接的に」特定
- レンジフリー手法 (Range-free)
 - 既知であるノードとの距離やホップ数から位置を求めるなど「間接的に」特定しRSSIなどは利用しない
 - RSSI (Received Signal Strength Indicator : 受信信号強度)、受信機入力に入る受信信号の強度を示す数値





ローカライゼーション

131

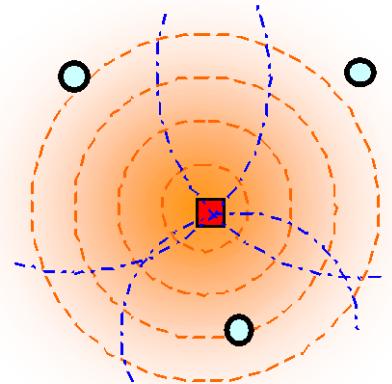
- ・センサネットワークは、実世界を扱うため位置情報が重要となる
 - ・インターネットでは、サーバの位置はあまり重要ではないが、センサネットワークは、どの環境のデータを取得しているかが重要となる
 - ・位置取得は、センサネットワークにおいてもっとも重要かつ困難な課題
- ・位置情報取得方法
 - ・レンジベース
センサネットワークを構成する各ノード間の距離を測定しそれぞれの位置を決定
 - ・レンジフリー
電波や音波など、距離測定信号を用いて位置を決定センサネットワークではレンジフリー位置推定方式が一般的
 - ・ノード数が多い場合レンジベースでは通信コストや電気消費コストが大きすぎる





レンジベース手法 (Range-based)

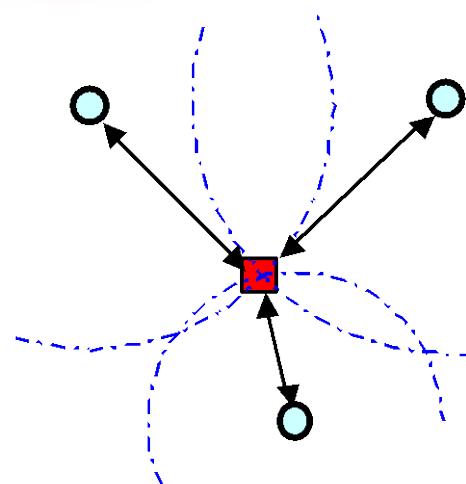
132



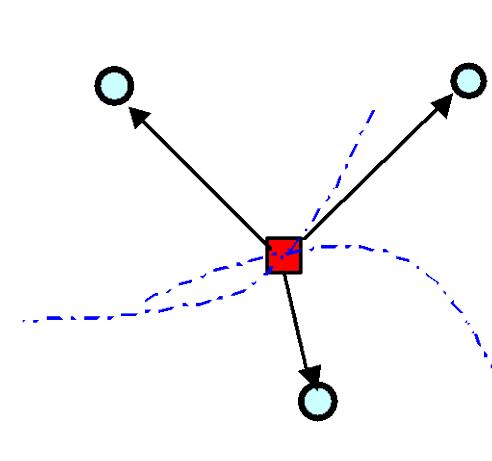
RSSIもしくは伝搬遅延時間による距離の推定

● 基地局
■ 移動ノード

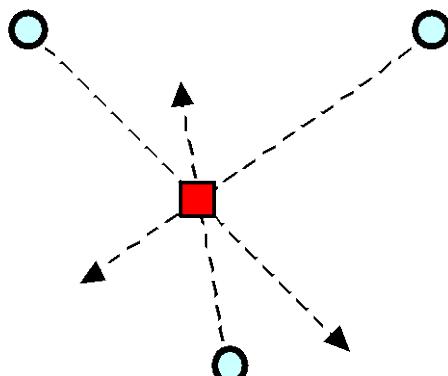
ToA(Time of Arrival)
TDoA(Time Difference of Arrival)
AoA(Angle of Arrival)



往復遅延時間(ToA)



時刻伝搬(TDoA)



方位(AoA)

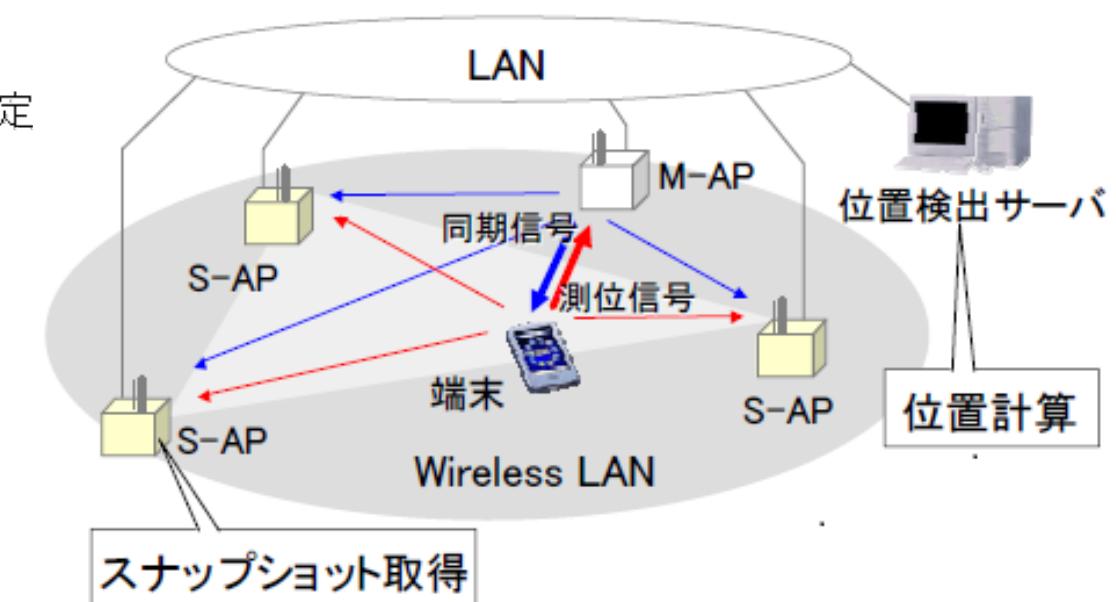
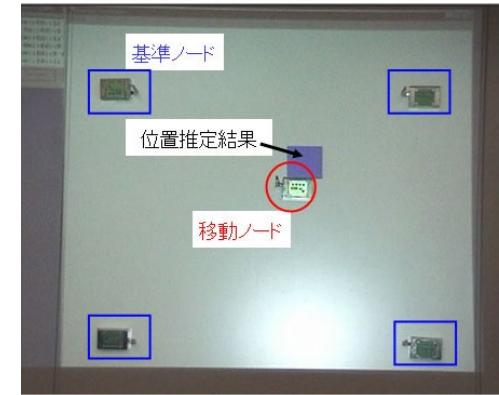
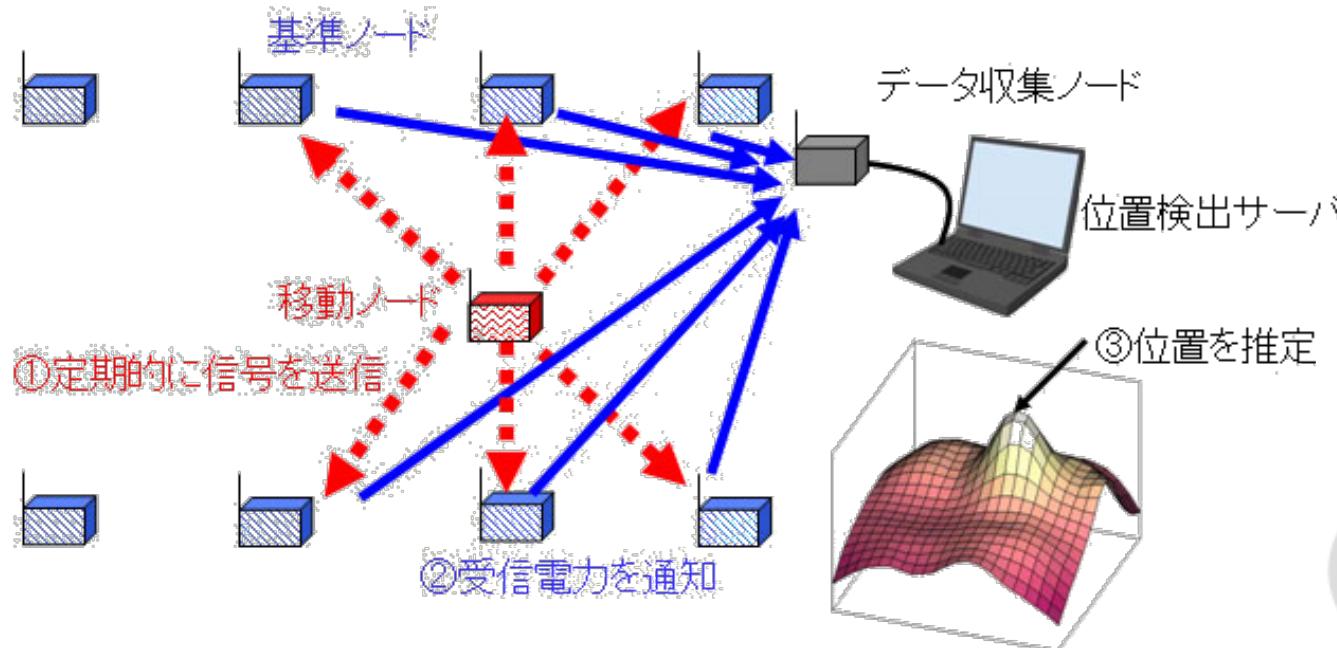


レンジベース手法 (Range-based)

133

ZigBeeによる RSSI位置検知システム例

<http://www.oki.com/jp/Home/JIS/New/OKI-News/2006/01/z05106.html>



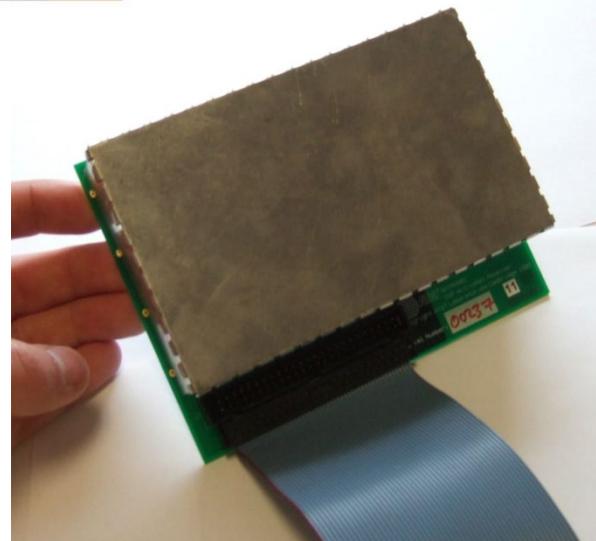
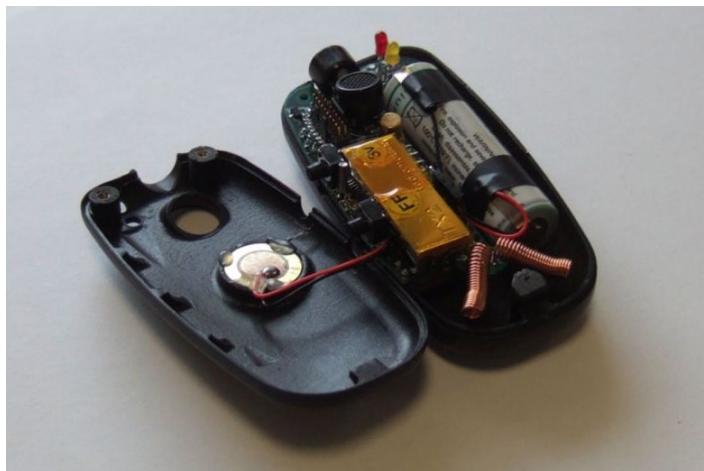
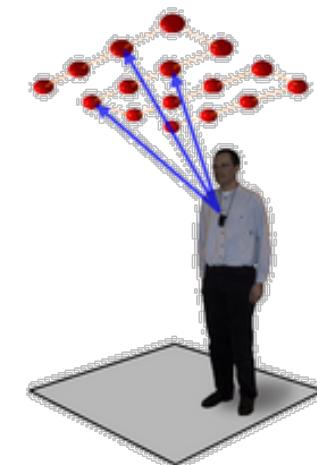
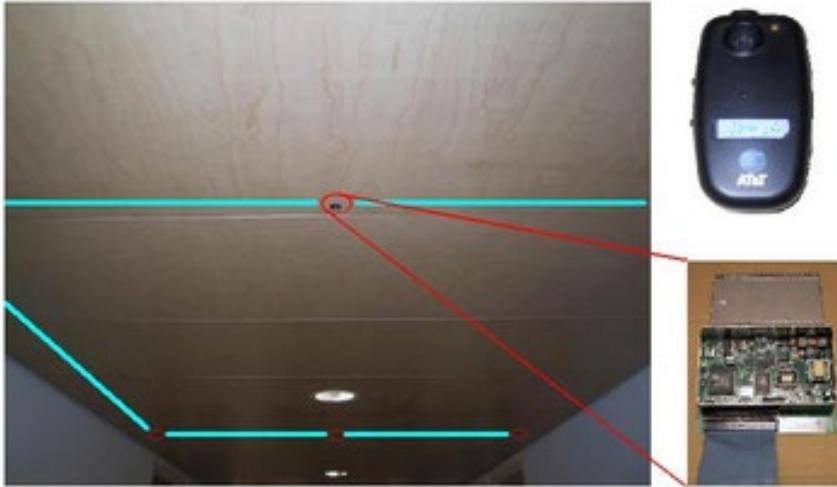
無線LANによるTDOA位置検知システム例

<http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/index.html>



レンジベース手法による応用例

134



<http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/research/wiki/BatSystem>

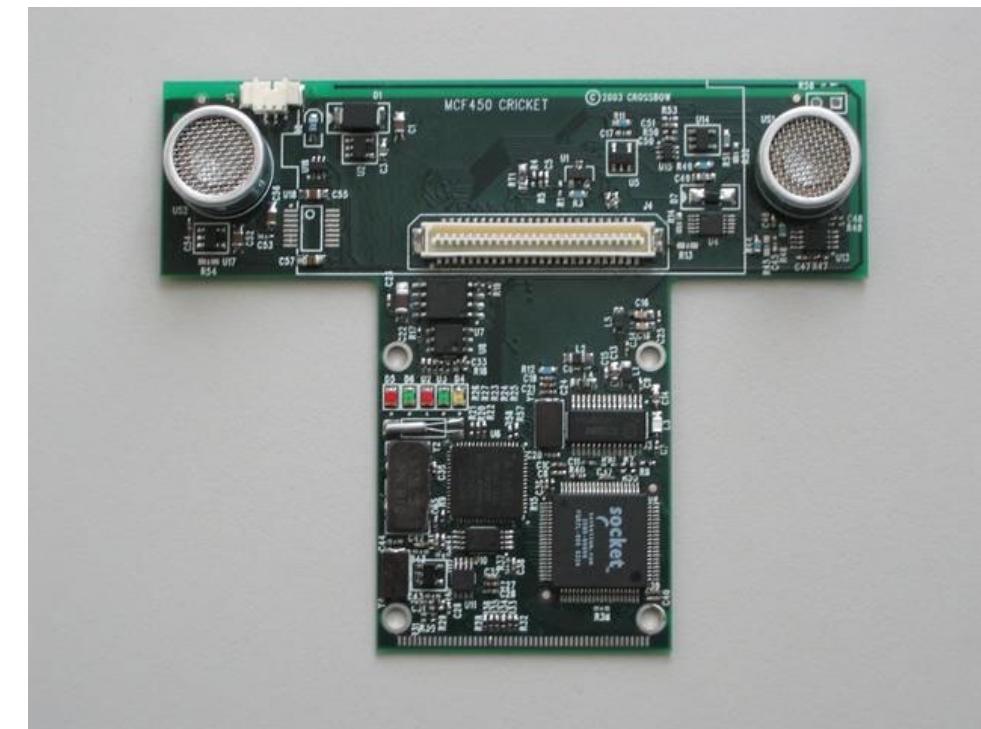
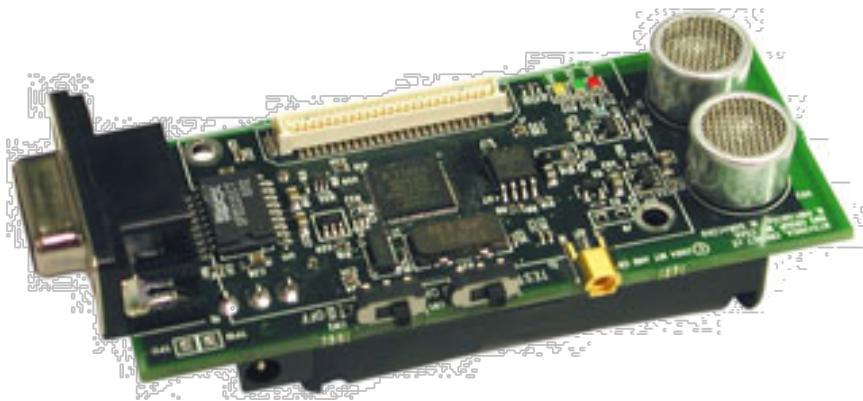


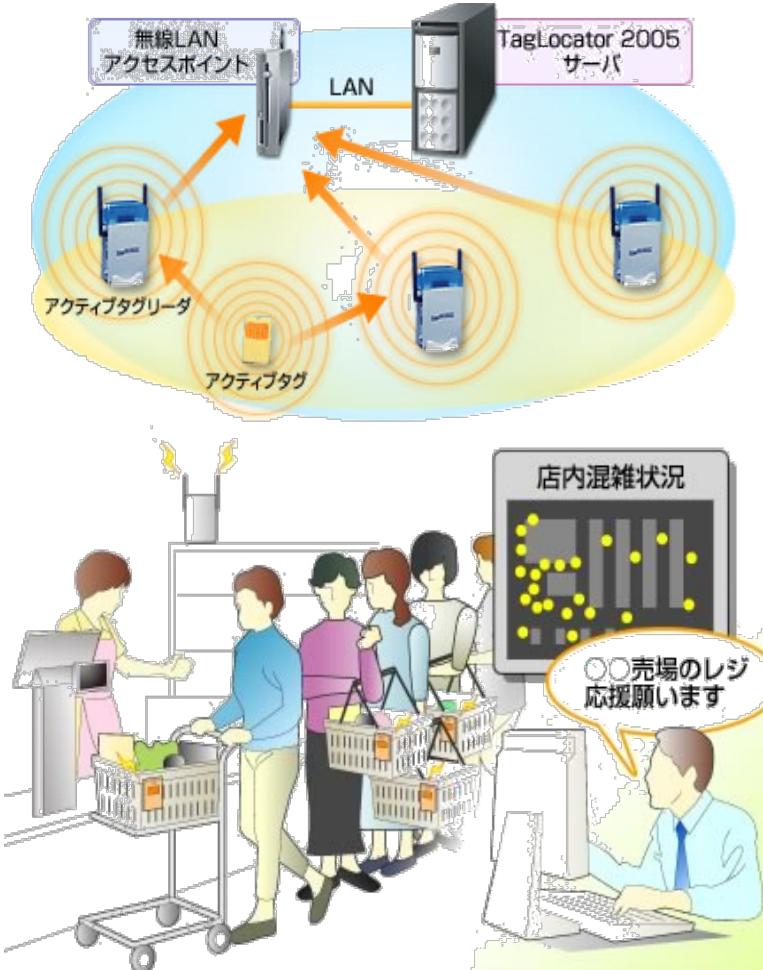
<http://cricket.csail.mit.edu/>



音波の伝搬遅延による測距

135





RFIDタグによるゾーン検出

<http://jp.fujitsu.com/group/fst/services/ubiquitous/rfid/>



赤外線タグによる位置検知システム例

<http://www.nec.co.jp/press/ja/0602/0903-01.html>

距離を求めず、電波が届いたか
届かないかなどを利用

- ・受信信号の伝搬特性を利用(特徴量)
- ・データベースとパターン照合
- ・ホップ数
- ・通信遅延時間



位置情報の取得

- 基準局を利用する方法 (GPSなど)

- 基準局A, B, Cから測定対象Dまでの距離が既知であれば

$$\sqrt{(x_A - x_D)^2 + (y_A - y_D)^2 + (z_A - z_D)^2} = d_{DA}$$

$$\sqrt{(x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 + (z_B - z_D)^2} = d_{DB}$$

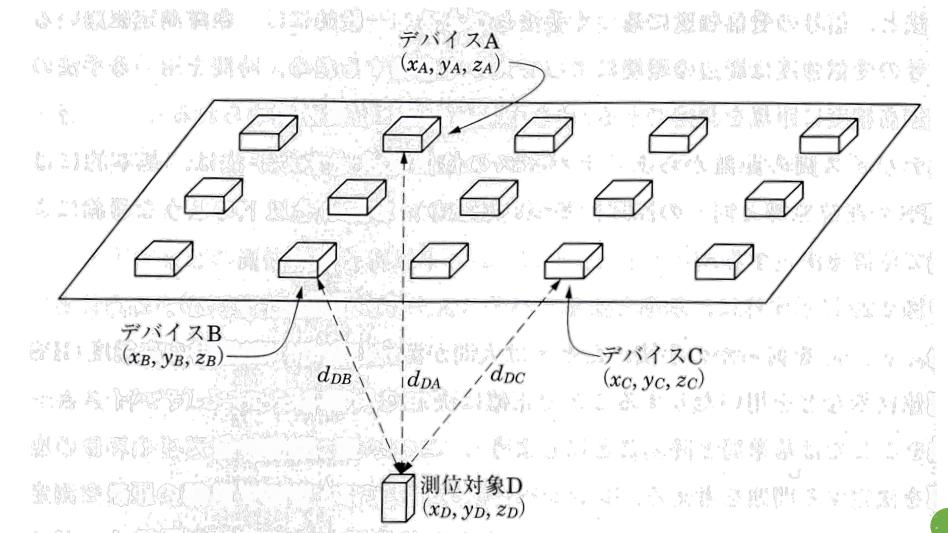
$$\sqrt{(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 + (z_C - z_D)^2} = d_{DC}$$

この方程式の一般解を求めるのは困難なため、連立ニュートン法や最小二乗法などで解くことが多い

- 3点では解が唯一に定まらない (2つ存在) 、4点でも同一平面上にあれば解が唯一に定まらない

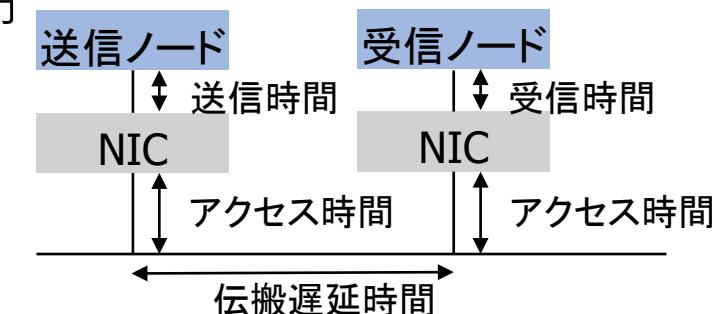
- 超音波による応用例 (精度数cm)

- Active Bat (ケンブリッジ大学) 超音波
- Cricket (MIT) 超音波





- センサネットワークは実世界を扱うため、何時その事象が計測されたかという時刻を正確に知る必要がある
 - TDMA (Time Division Multiple Access) には正確な時刻（時間）が必要
 - スリープ状態から通常（通信）状態に移行する時刻の同期
 - GPSおよびNTPでも時刻取得は可能
- 時刻同期に生じる遅延要素
 - 送信時間：時刻情報をサーバが生成しデバイスに送信するまでの遅延で、コンテキストスイッチやシステムコールによるオーバヘッドが含まれる
 - アクセス時間：ネットワークデバイス内の遅延で、物理媒体のチャネル空き待ち時間や、エラーによる再送時間が含まれる
 - 伝搬遅延時間：送信されたデータがクライアントのネットワークインターフェースに届くまでの遅延で、中継ルータやスイッチでの遅延が含まれる
 - 受信時間：クライアントのネットワークインターフェースデバイスが受け取った時刻同期情報が、アプリケーションに渡されるまでの遅延



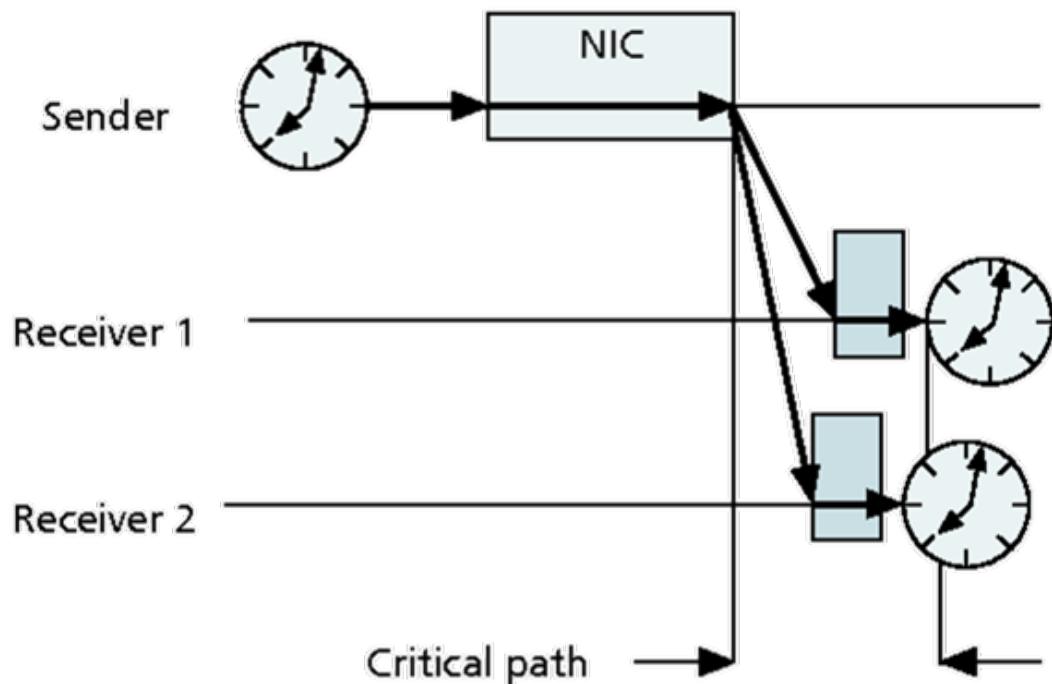
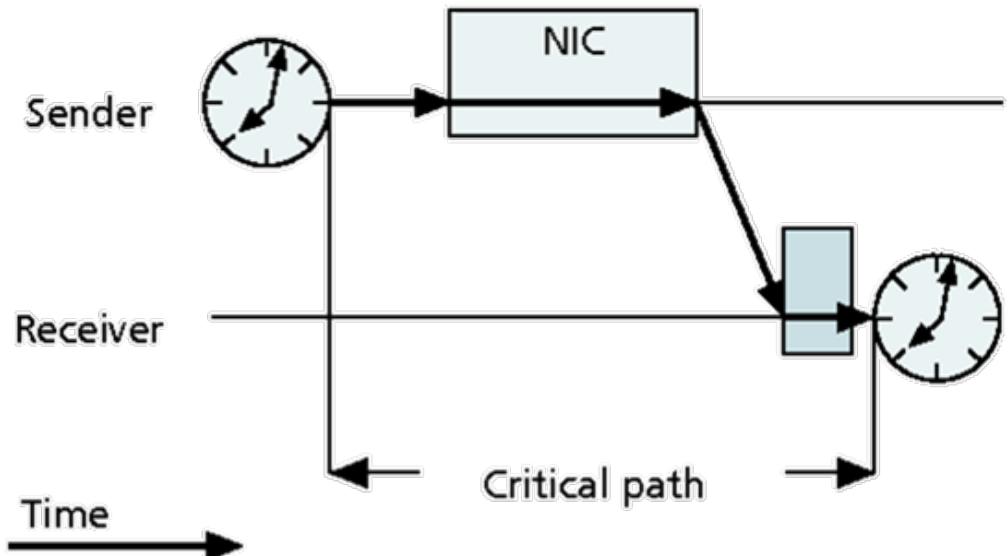


一般的な時刻同期手法

139

- RBS (Reference Broadcast Synchronization)

- サーバは時刻同期信号をブロードキャスト
 - すべてのクライアントについて、送信時間とアクセス時間は同じ（場合によってはハードウェアで時刻同期）
 - 伝搬遅延時間と受信時間の不確定性が若干残るが、同じ時刻を刻むことができる





より正確な時刻を取得するために

140

- ・往復時間を考慮する (NTP Network Time Protocolと同様)
 - ・時刻情報を受け取ったら直ちにその情報を送信ノードへ送り返すことで、往復遅延 T_r が得られる
 - ・ $T_r/2$ は伝搬遅延時間を含んでおり、これを元に補正する
- ・何度か時刻RBSを受け取ってスキューチューブ C_{ij} を算出する
 - ・温度依存性は補償回路である程度除去できるが、超音波を利用する場合など、環境による不確定要素が含まれるため一度測定すればよいという値ではない
- ・クライアント間で時刻情報を受信したローカルな時刻を交換しあい、オフセットを求める
 - ・平均はだれが計算しても同じという単純な方法で算出

$$\forall i \in n, j \in n: O_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (T_{jk} - T_{ik})$$

$$T_i \approx T_j C_{ij} + O_{ij}$$

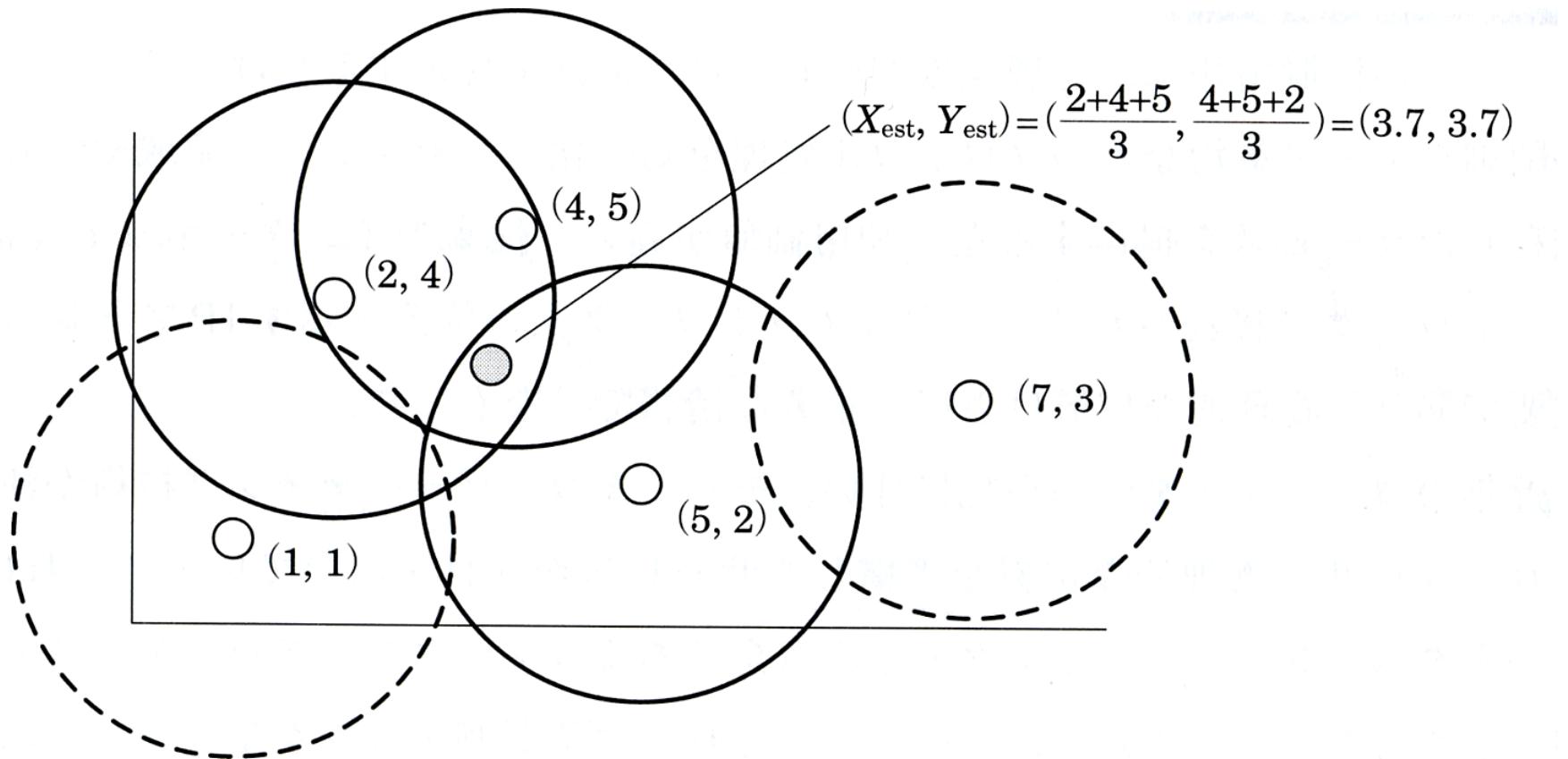




Centroid測定による位置測定

141

- 位置が既知であるランドマークノードからの受信状況で重心位置を推定

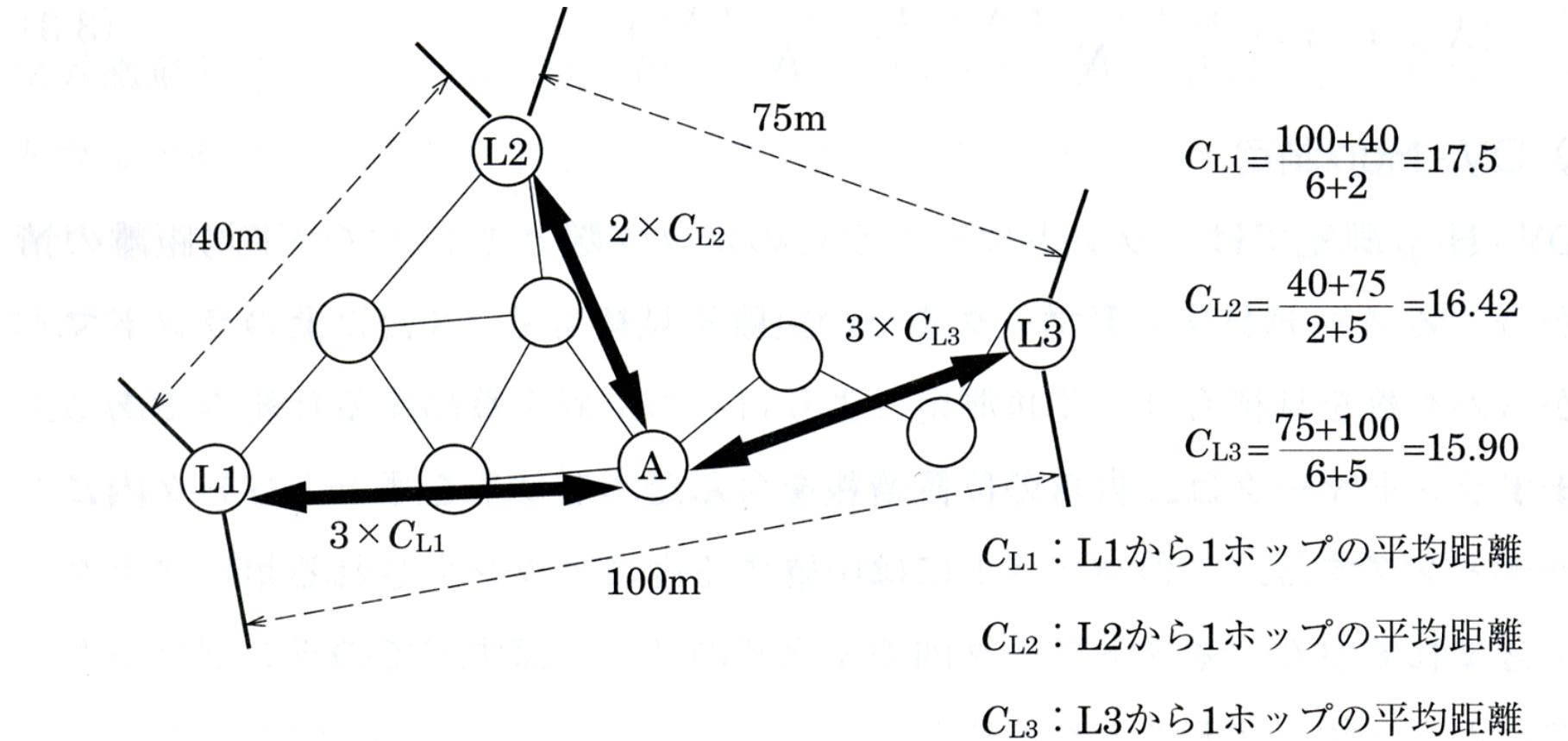




DV-Hop測定による位置測定

142

- ホップ数を勘案して位置を推定





より正確な位置推定

143

- RSSIによりランドマークからの距離を実際に得る
 - 複数の方法を融合する
 - 自位置の移動距離や移動方向を地磁気やエンコーダにより入手しハイブリッド計測を行う
 - 周波数位相差により正確に距離差を測定する
- RSSIの理論値

$$P_r = P_t - L_p + G_r + G_t$$

Pr: received power [dBm]

Pt: transmitted power [dBm]

Gr: receive antenna gain [dBi]

Gt: transmit antenna gain [dBi]

Lp: loss of propagation [dB]

Parameter	Value
Send interval	10 msec
Send count	100 times
Channel	11ch (2405 MHz)
Transmitter power	0 dBm

自由空間における伝搬損失

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^\alpha = 10\alpha \log_{10} \left(\frac{4\pi f D}{3 \times 10^8} \right)$$

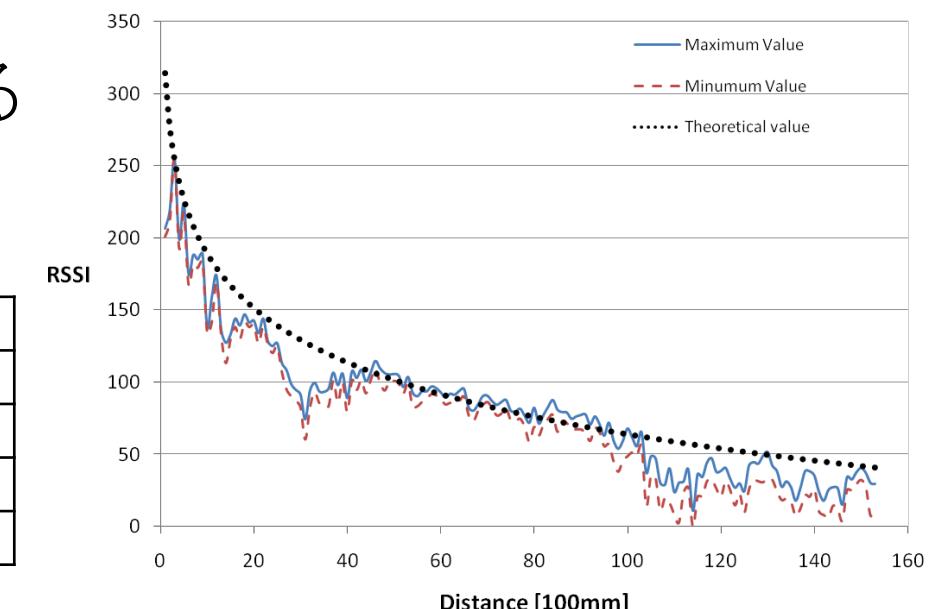
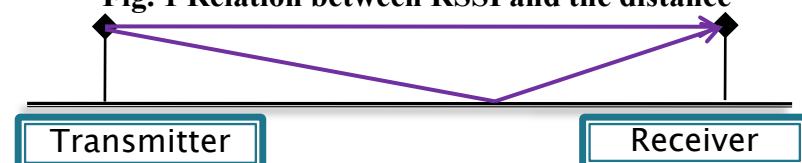


Fig. 1 Relation between RSSI and the distance

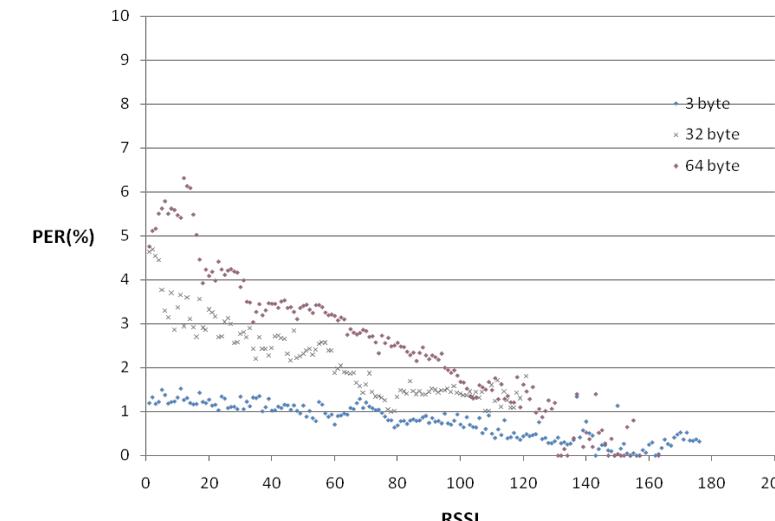
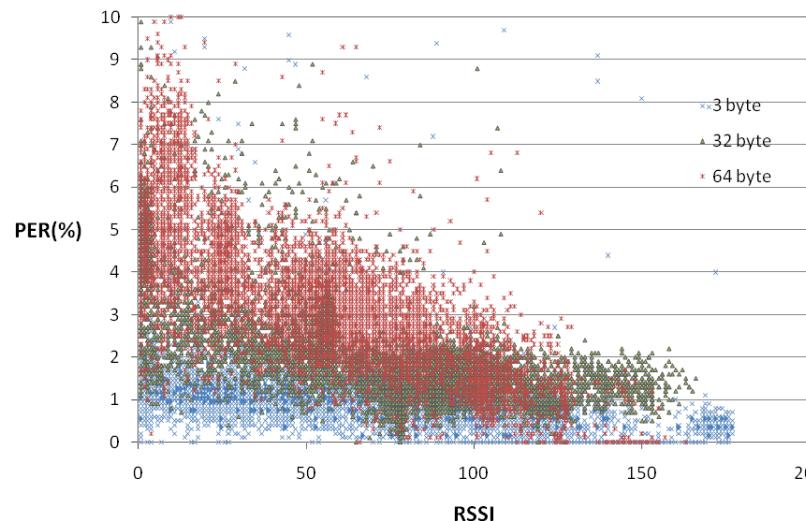




RSSIは信用に足るのか？

144

- RSSIが環境の影響を受けやすく不安定な指標
 - 障害物の影響だけでなく、相互干渉、外乱等、不安定になる要素が多数あり、その特定や影響が困難であることからRSSIのみを用いた位置推定は難しい
- PER (Packet Error Rate) とも密接な関係がある
 - 安定した通信環境を得るためにもRSSIを無視することはできない
 - さらには送信パケットサイズとも関係がある
- 送信データ長及びRSSI と PERの相関実験
 - 送信ノード：固定長データパケット送信・受信ノード：受信パケット数カウント





取得データの格納

145

- ・センサネットワークで取得した情報をどのように格納するか
- ・外部ストレージ方式
 - ・センサから取得したデータをノードが直接蓄積せず、センサネットワーク外部のノードに送信する
 - ・データの回収は外部ストレージに直接アクセスすればよく、外部ストレージへの情報伝送コストが必要であるがクエリに対するコストは小さい
- ・ローカルストレージ方式
 - ・センサが取得したデータをその情報を取得したノード自身が保持する
 - ・クエリが少ない場合に電力消費コストが少ないが、小型センサノードに巨大なローカルストレージを搭載するのは難しい
- ・データセントリックストレージ方式
 - ・センサネットワーク中の各ノードに保持するべき情報の種類が定められており（タグ等）、関係する情報が該当するノードで蓄えられる
 - ・情報の取得と対応するノードの位置関係などがうまくいけばよいパフォーマンスが期待できる





演習問題（3）

146

次の用語について、それぞれ100文字程度で説明しなさい。

- (3-1) スケーラビリティ
- (3-2) フォールトトレランス
- (3-3) ラストワンマイル
- (3-4) ゲートウェイ
- (3-5) エナジーハーベスティング





演習問題（3） 続き

147

注意事項

- これらの設問に対する回答を、Microsoft Wordファイルで作成
- keio.jpで提出すること
- A4 1～2枚で作成すること
- 最初にタイトルとして「演習問題（3）」と書き、名前と学籍番号を記載すること。
このフォーマットに従っていないレポート答案は受け取らない
- 締め切りは7月頭であり、詳細はkeio.jpを確認すること

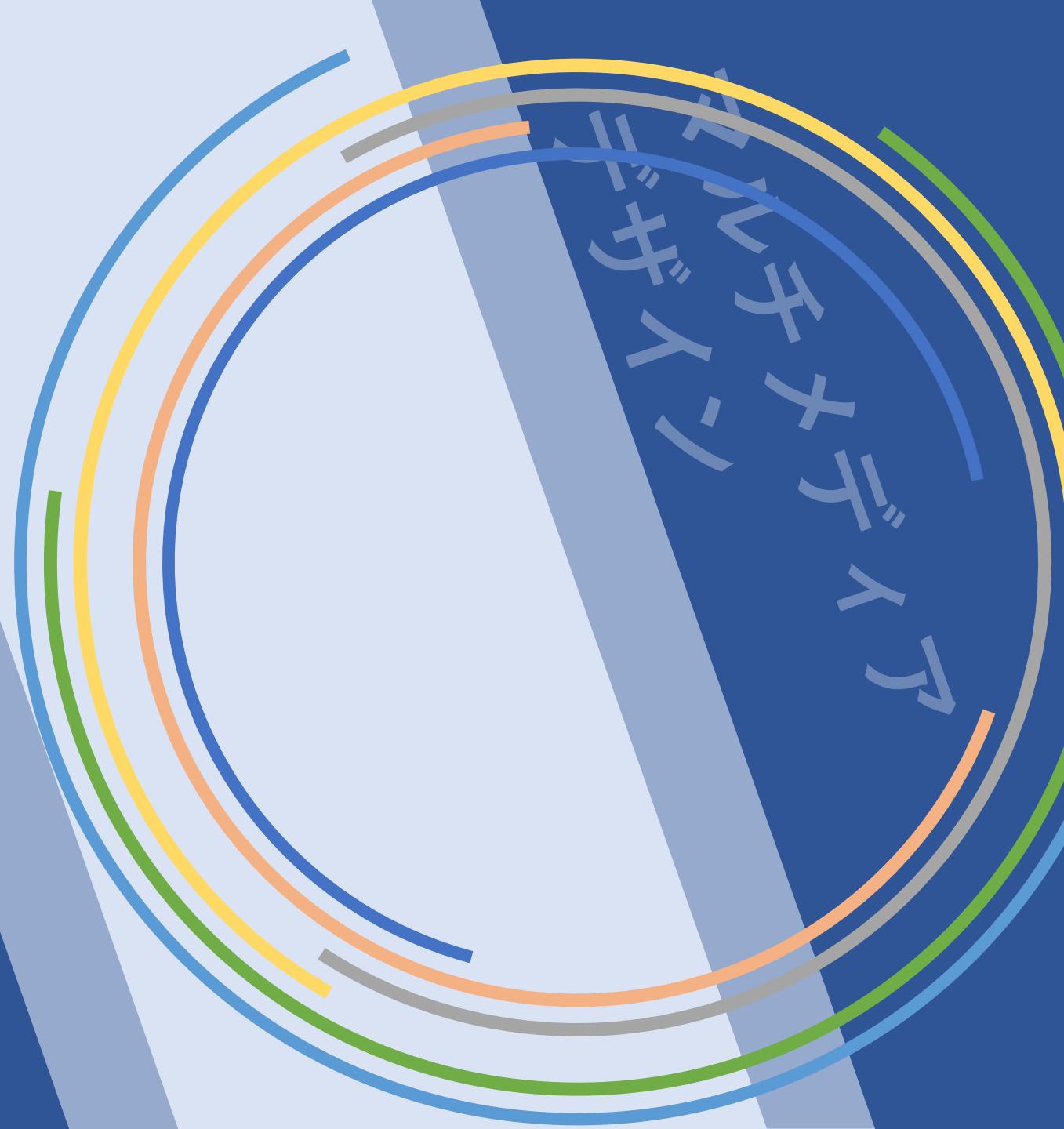


この授業のスライドはkeio.jpで公開されます
授業やレポートに関する質問などはSlackへ
<https://keio-st-multimedia.slack.com>



#5-6 センサ技術

担当： 西 宏章





- ・いまや計測においてアナログを扱うことはほとんどなくなった
- ・センサを用いて直接デジタル、もしくは電圧や電流などのアナログ情報をサンプリングし、デジタル情報に変換することが広く行われている
- ・センサとは、測定対象を電気的信号に置き換えるデバイス
- ・沢山の種類がある





センサの種類

151

- ・ 力 ストレインゲージ、ロードセル、半導体圧力センサ
- ・ 変位 ポテンショメータ、差動トランス、回転角センサ、リニアエンコーダ、ロータリエンコーダ
- ・ 位置 光位置センサ(PSD)
- ・ 速度 タコジェネレータ、レーザードップラー振動速度計
- ・ 加速度 加速度センサ、地震センサ
- ・ 角速度 ジャイロセンサ
- ・ 回転数 タコジェネレータ、ロータリーエンコーダ
- ・ 距離 超音波距離計、静電容量変位計
- ・ 光 光電素子、フォトダイオード
- ・ 磁気 磁気センサ
- ・ 温度 サーミスタ、熱電対、放射温度計
- ・ 化学 イオン濃度、ガス濃度
- ・ 音声 マイクロフォン
- ・ その他 時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾斜、振動、におい、赤外線、粘性、画像処理は応用範囲が広い、変わったところではニュートリノ等





力センサ

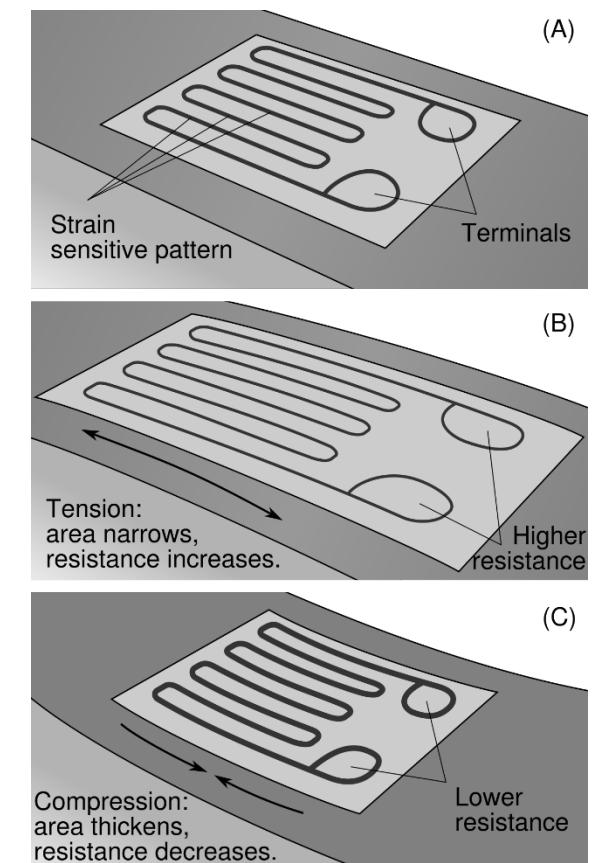
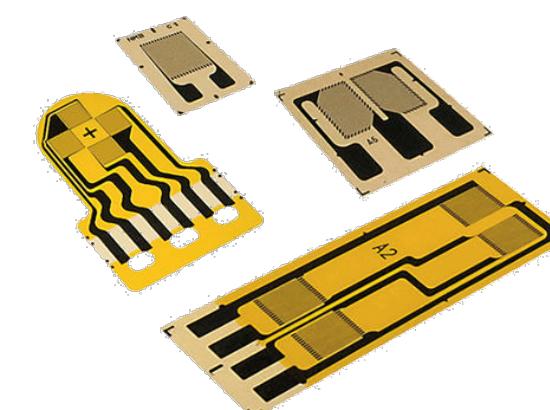
152

- ストレンゲージ

- 薄い絶縁体上にジグザグ形状にレイアウトされた金属抵抗体(金属箔)が配置されており、変形による電気抵抗の変化を測定することによりひずみ量に換算

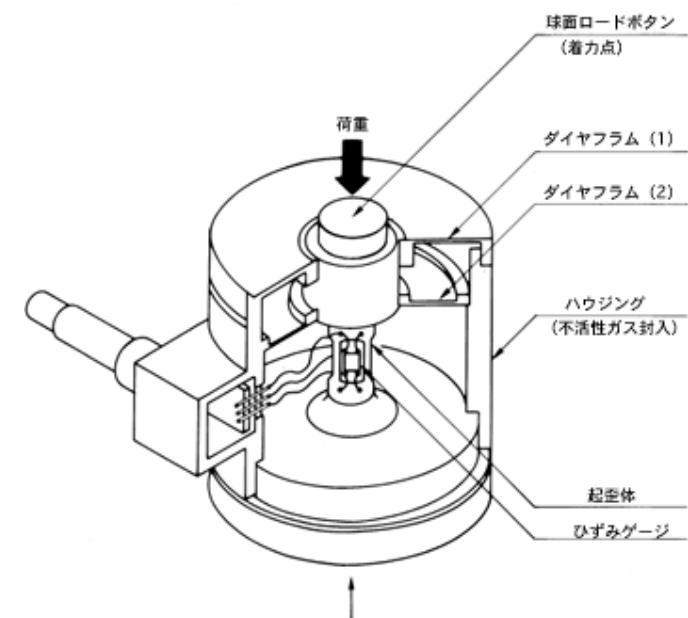
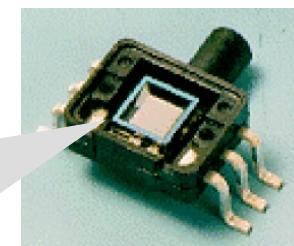
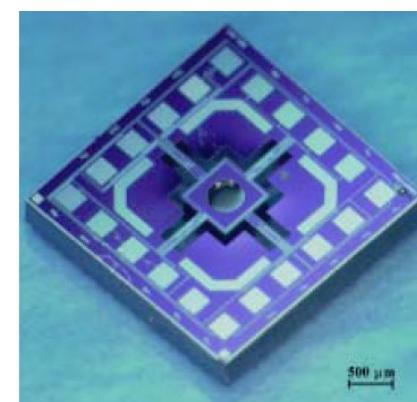
- 動作原理

- 被測定物が変形すると、ひずみゲージも同率で変形
- 金属抵抗体は、伸びにより断面積が減るとともに長さが長くなり、その結果抵抗値が増えることを測定に利用
- この抵抗変化は微小であるため、検出にはブリッジ回路を使用
- ストレンアンプ（ストレンゲージアンプ）と呼ばれるブリッジ回路と電流增幅器を備えた機器と組み合わせて測定





- ロードセル
 - 加重で変位量が既知である物質にひずみゲージをつけて圧力を測定
- 半導体圧力センサ
 - ピエゾ抵抗効果を利用
 - 単結晶シリコン結晶に応力・ひずみが作用したとき、その比抵抗が変化する効果
 - 一般に高精度、低価格、高信頼（ヒステリシス特性がない）



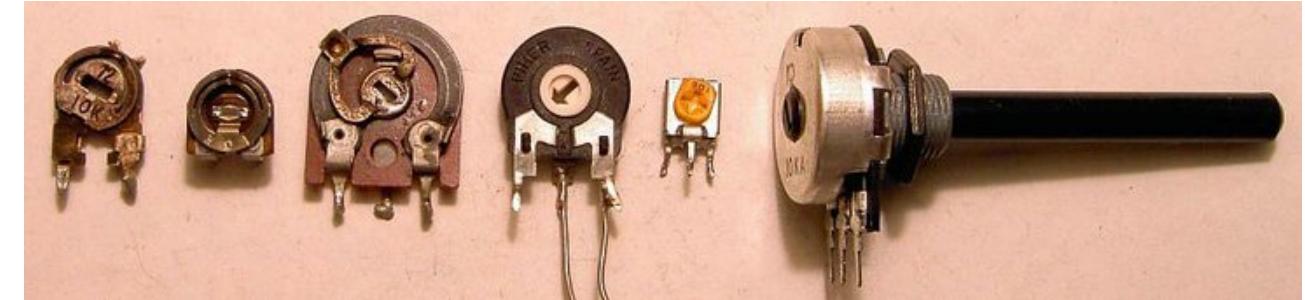


変位センサ

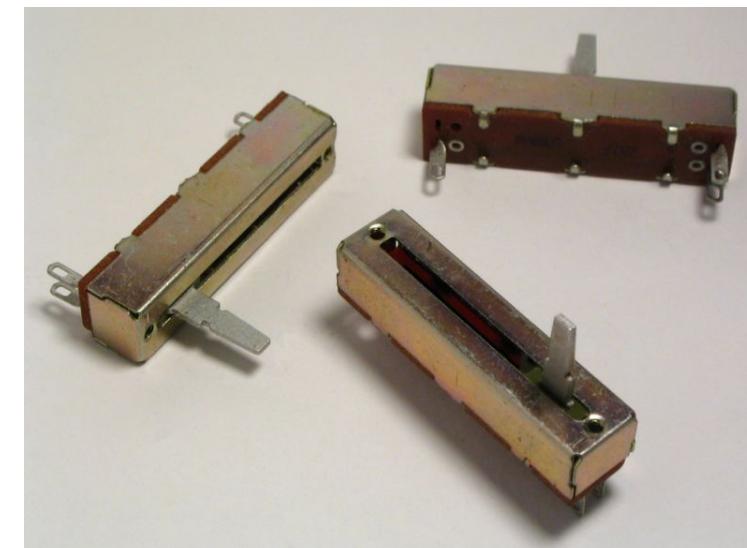
154

- ポテンショメータ(potentiometer)

- 本来は回転角や移動量を電圧に変換する機器・素子
- 半固定抵抗器を表す言葉としても広く使われている
- ロータリーポテンショメータ



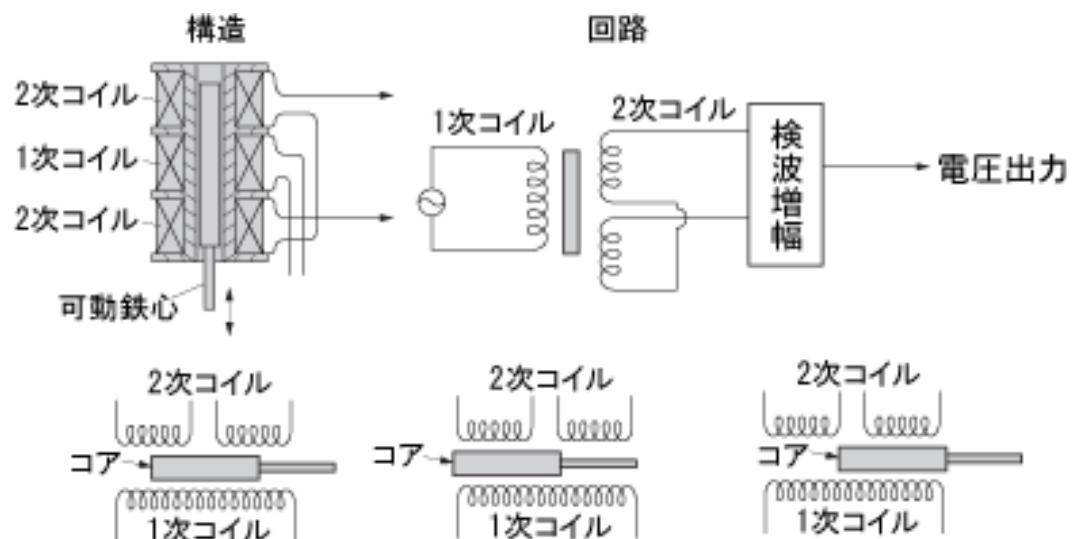
- リニアポテンショメータ





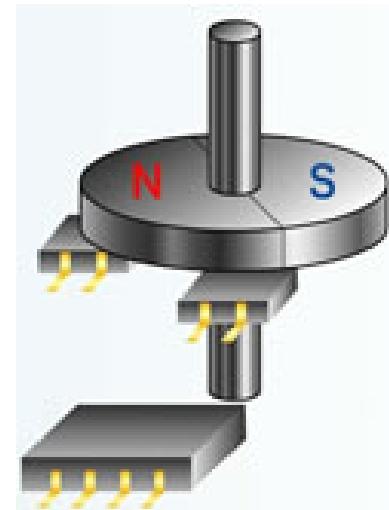
・作動トランス接触式変位センサ

- ・3つのコイルと可動鉄心で構成
- ・1次コイルを交流で励磁すると被測定物体に連動して動く可動鉄心により2次コイルに誘起電圧が発生これを差動結合し電圧差として取り出し、変位を得る
- ・可動鉄心が中央にある時は、電圧差が0
- ・可動鉄心の中央からの変位に比した交流電圧が現れる
- ・可動鉄心が右にある場合と左にある場合とで位相が逆





- 回転角センサ
 - ホールセンサ
 - 単極着磁した磁石の回転角度を絶対角度で検出
- リニアエンコーダ
 - 光学式リニアエンコーダ
 - ゲージに刻まれた目盛りをレーザやLED等で検出
 - 静電式リニアエンコーダ
 - 電磁誘導リニアエンコーダ
- ポータリエンコーダ
 - 基本的にはリニアと同じで、円形状になっている





位置センサ

157

- 光位置センサ PSD (Position Sensitive Detector)

- 用途先

- レーザー・ポインタと組合せて、三角測量方式の変位センサなどに利用

- 動作原理

- 光のスポット光量の「重心」位置を求める
 - 光量に応じた電圧を発生する材料を一様に塗布した一定の面積をもったセンサに光のスポットがあたると、光量に応じた電圧が発生
 - スポットの位置から離れた点の電位は膜材質の抵抗により低下するため、センサの両端に発生する電圧の比から、光スポットのセンサ位置を求める

- 特徴

- アナログ電圧の演算から位置を求めるため、分解能は理論的には無限小
 - 光スポット以外の外乱光が誤差要因となる
 - 測定対象の色の違いで測定値が変動する





速度センサ

158

- タコジエネレータ
 - 発電機
 - 発電電圧で回転速度を計測
- レーザードップラー速度計
 - ドップラー効果により流速度を測定するため光ヘテロダイン法や走査型干渉法を利用したレーザー機器
 - 流れる物体にレーザー光を当てるとき散乱光がドップラー効果によって流れの速度に比例した周波数を受け、この変化を入射光と散乱光の光ビート信号として測定し、流れの速度を求める
 - 超音波ドップラー速度計も存在
- 一般的には、
 - 速度を検出するよりも、位置を検出して微分することにより速度を得るほうが高精度となる場合が多い
 - 位置センサ、変位センサが速度センサとしても利用可能





加速度センサ

159

- 基本原理

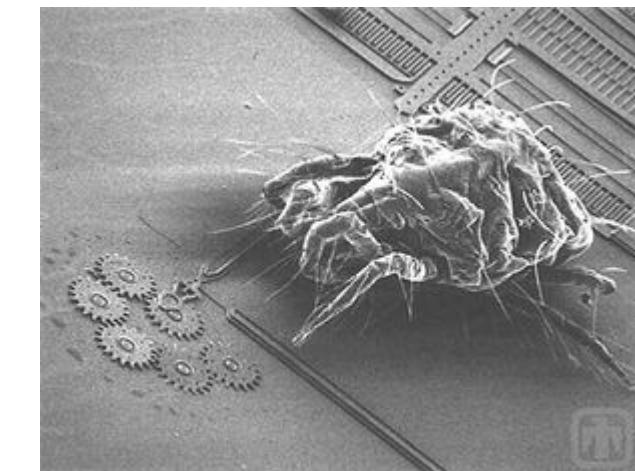
- 基本的には、ばね定数kと質量mが既知であれば、 $a = \frac{kx}{m}$ となり、変位xを求めれば加速度が求まる

- 変位の測定手段は様々

- 静電容量変化、ひずみゲージ、ピエゾ抵抗効果、周波数変化、干渉等

- 最近の注目はMEMS加速度センサ

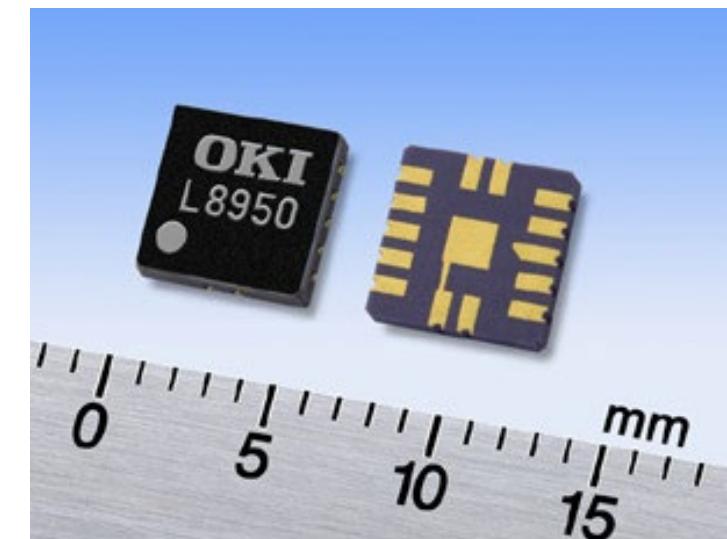
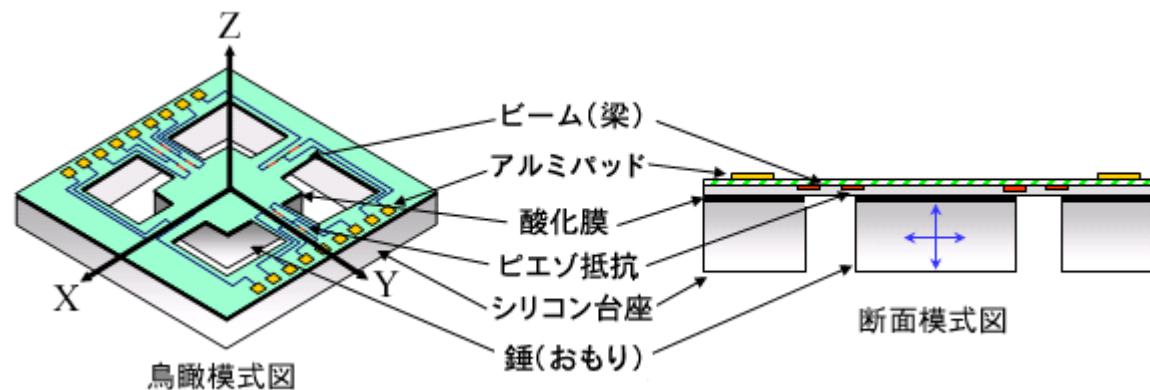
- 質量が小さいため感度は低下するが劇的な小型化が可能
- 自動車のエアバッグやカーナビゲーションの傾斜計、ゲームのコントローラなどで利用





- ピエゾ抵抗加速度センサ

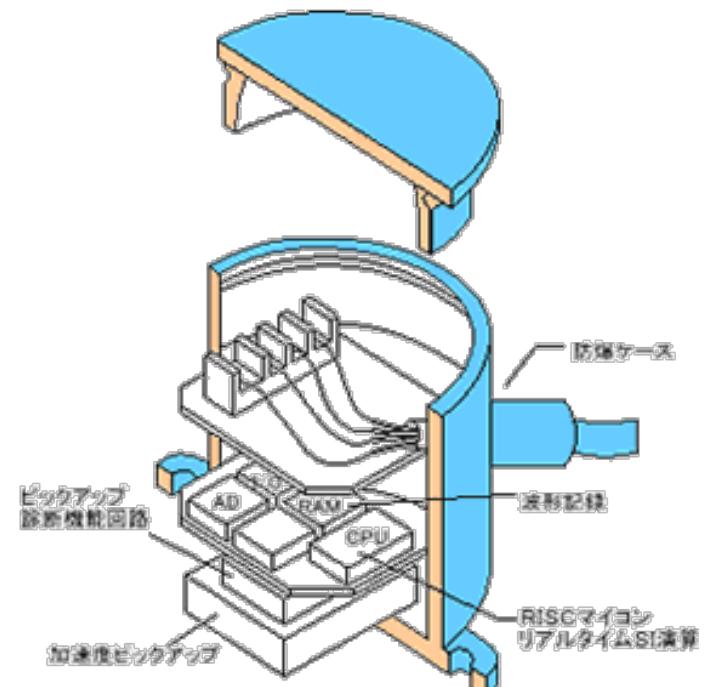
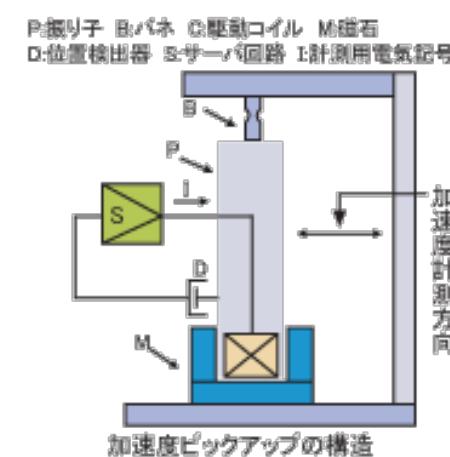
- 薄いシリコンの梁（ビーム）によっておもりを支え、加速度でおもりが動きで発生する梁の歪みを梁上に形成したピエゾ抵抗素子の抵抗変化で検出し、加速度を測定する





• 地震センサ

- 加速度による振り子の位置を高感度の位置検出器で検出し、変位に応じた電気信号をサーボ増幅器から駆動回路に加えて、振り子を基準位置に戻す制御を加える
- 振り子が常に基準位置にあるため、バネ部に加わる応力の影響が生じず、電気信号に比例している加速度を高精度に計測する
- 位置センサの計測値を2回微分してもよい

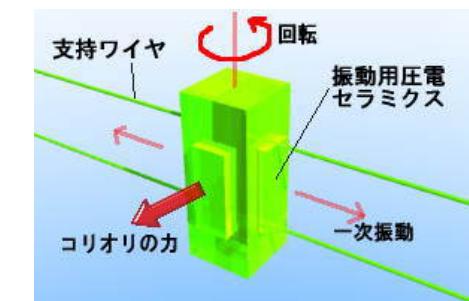




角速度センサ

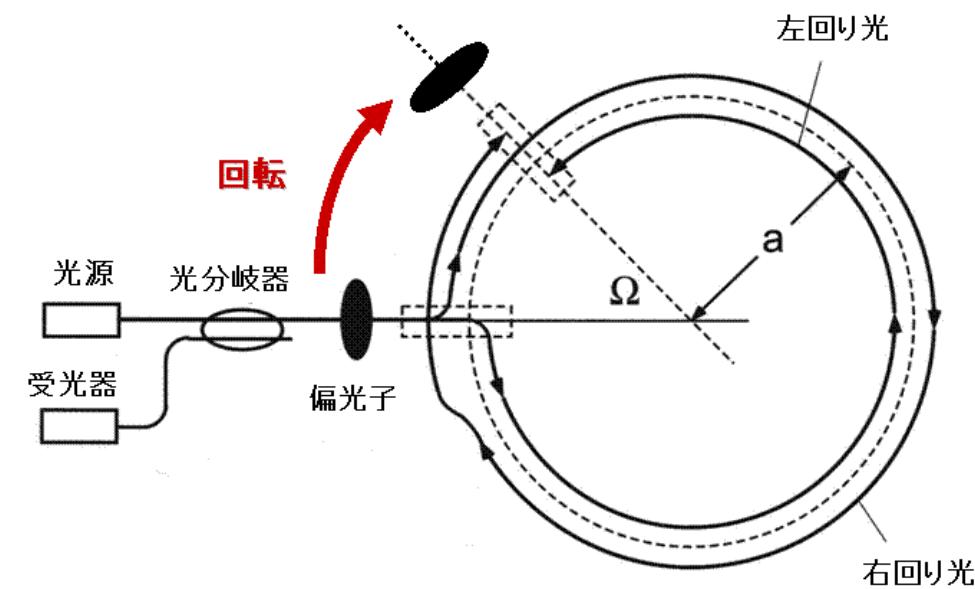
162

- ・ジャイロセンサ(ジャイロスコープ:gyroscope) = ジャイロ
- ・ロケットや航空機の姿勢制御、カーナビや自動運転システム、ロボット、デジタルカメラ、無人偵察機などで利用
- ・力学的な慣性を利用する方法
 - ・回転慣性とプリセッション（回転型）
 - ・ジャイロプリセッション:回転している物体の回転軸に横向きの力を加えたとき、その力の作用は回転方向に90度進んだ方向に現れる
 - ・「こま」を時計方向に回して、軸を右から左に押すと「こま」は、左には傾かずに向こう側に倒れようとする(ヘリコプタも同様の原理を利用)
 - ・コリオリの力（振動型、ガス型）←セグウェイも一緒
 - ・水晶振動を使って、フーコー振り子と同じ効果を得る
- ・光学的な干渉を利用する方法
 - ・サニヤック効果（光学式）



• サニヤック効果

- 光ファイバで作った円形光路を光が一周するのに要する時間は、宇宙に対して光路が回転すると変化
- 光の伝わる速さは光ファイバの動く速さにはよらず一定であることを利用（相対性理論の基礎）
- この時間の変化を、円形の光路を左右逆回りに伝搬する2つの光の間の干渉によって計測
- ボーイング777や人工衛星で利用
- ヘリコプターカメラ安定台





距離センサ

164

- ・超音波距離計
 - ・音の速度は一定であるとして、音を発して音を受けるまでの時間を計測
- ・静電容量変位計
 - ・コンデンサの蓄電量Cは、 $C = \epsilon \frac{S}{d}$
 - ・dのみが変量である場合、Cを測定すれば、dが得られる





光センサ

165

- 光電素子

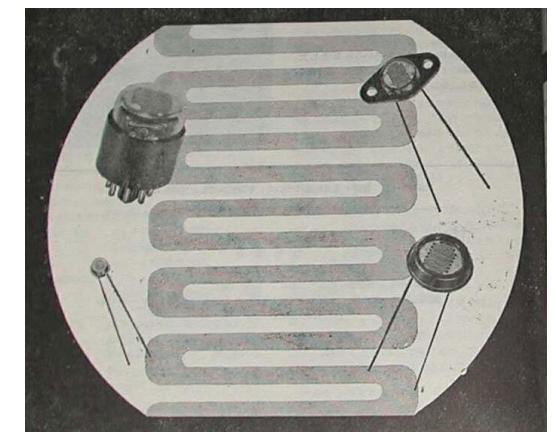
- 入射面に光が入ると光電効果により光電面から電子を放出、これをダイノードと呼ばれる電極に当てることで電子の数を増やすことを繰り返すことで増幅する
- カミオカンデ

- 太陽電池式

- フォトダイオードもここに分類
- 受光量に比して電流を発生

- 光抵抗素子

- CdS 硫化カドミウムセル
 - RoHS指令により流通量がかなり減った
 - 電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についての
欧州連合による指令

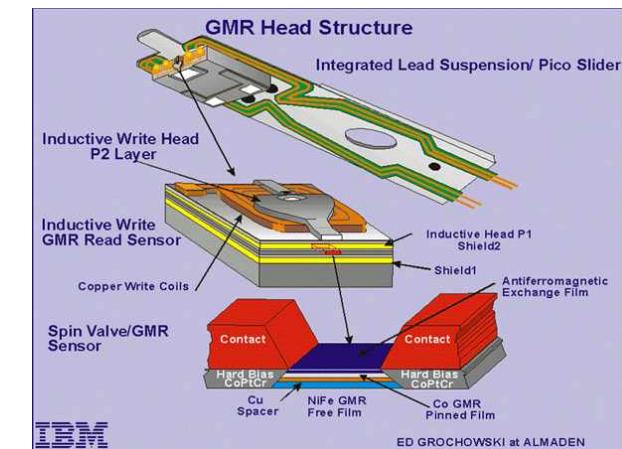
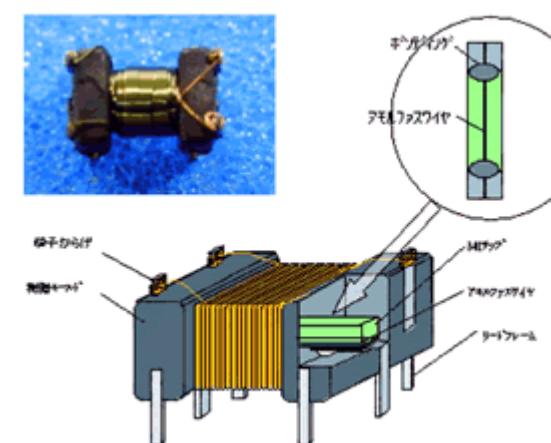




磁気センサ

166

- コイル
 - テープデッキや磁気カード等
- ホール素子
 - 電流に垂直に磁場をかけると、電流と磁場の両方に直交する方向に起電力が現れる現象
- 磁気抵抗効果素子
 - 磁場をかけると電気抵抗率が増加する現象
 - 常温巨大磁気抵抗 (Giant magnetic resistance: GMR) 効果
 - ハードディスクの読み取りヘッド
- 磁気インピーダンス素子
 - アモルファスワイヤを利用

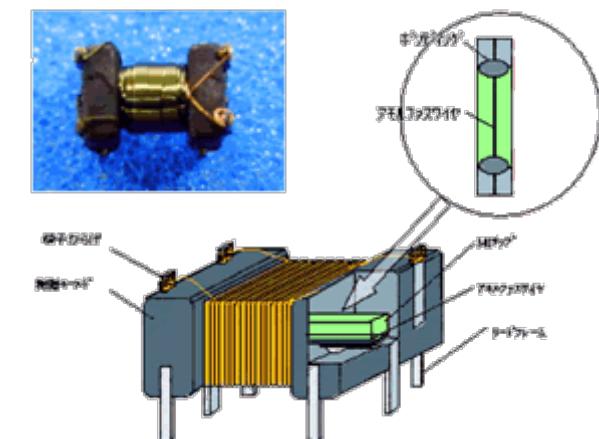




磁気センサ

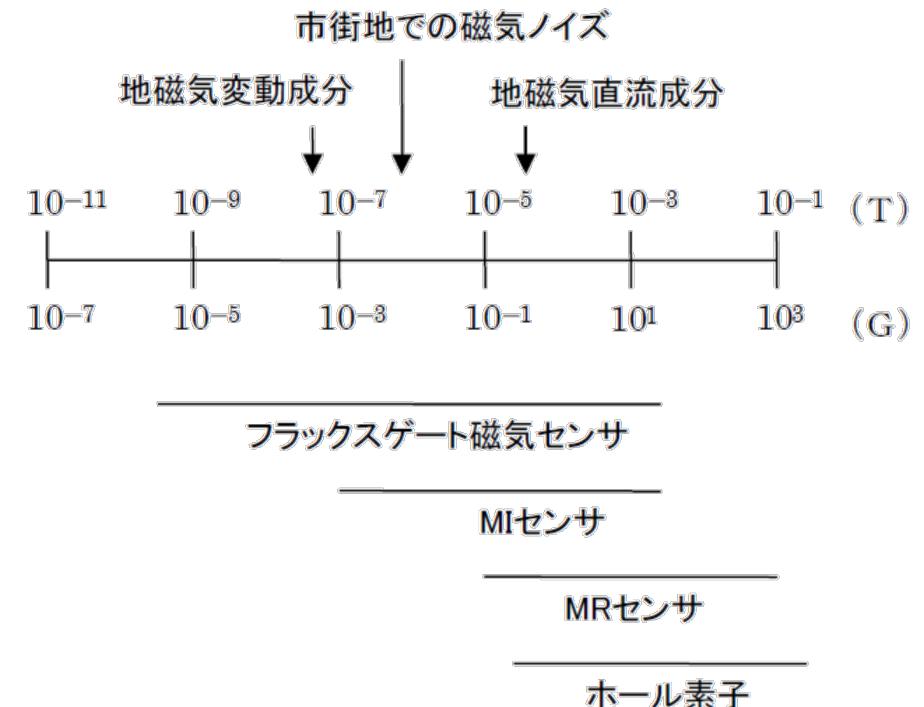
167

- 磁気インピーダンス素子
 - アモルファスワイヤを利用
- ウィーガンド・ワイヤ
 - 合金ワイヤ内で2種類の磁気極性の反転に必要な磁場の強さが異なる部位を有する合金ワイヤを用い、発生するウィーガンドパルスを検出
 - ウィーガンドワイヤの製造は複雑な作業であり、その複製は実質上不可能であるため、セキュリティキーとして利用されている
- フラックスゲート磁気センサ
 - 2つのコイルを用い、片方のコイルで周期的に磁束を飽和
 - 外部磁場により変化する飽和タイミングから磁場強度を測定





- ファラデー素子
 - 磁界が近づくと光の偏波面に回転を与える素子
 - 光の通過量を制御できるため、光通信にも利用
- 電子スピニン共鳴（磁気共鳴）
 - 電子のスピニンによりできた棒磁石に外から磁場をかけることで生まれたこまのような運動に、さらに別の磁場をかけて共鳴を起こす現象を利用
 - 材質により共鳴のさせ方が異なる
- 超伝導量子干渉素子(SQUID)
 - 超伝導体のリングにジョセフソン接合を持たせ、直流電流を流すと、ある臨界電流以下でジョセフソン効果により、直流抵抗が0の超伝導状態となる。この状態で外部磁界を与えると臨界電流に達し電圧が発生し、これを計測する





温度センサ

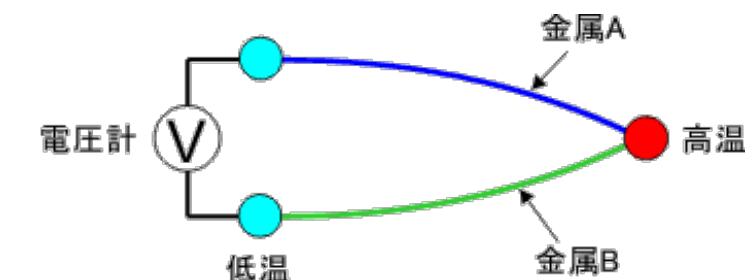
169

- 接触式

- ・サーミスタ
 - ・異なる金属が異なる熱膨張特性を持つことを利用
- ・熱電対
 - ・異なる材料の金属線を接続して1つの回路（熱電対）をつくり、接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生
 - ・片端を開放すれば、電位差（熱起電力）の形で温度が検出可能
 - ・熱起電力は、金属の種類と両接点の温度差に依存するが、金属の形状と大きさには関係しない

- 非接触式

- ・放射温度計
 - ・放射赤外線の強度を測定して、物体の温度を測定
 - ・最近の耳で測る3秒体温計など





その他のセンサ

170

- PSD
- 人感
- イメージ
- モーションキャプチャ
- 放射能



- ・コントローラを用いずに操作ができる体感型のゲームシステム
- ・ジェスチャーや音声認識によって直観的で自然なインターフェースを提供
- ・RGBカメラ、深度センサー、マルチアレイマイクロフォン、プロセッサを内蔵
 - ・プレイヤーの位置、動き、声、顔を認識
 - ・常にプレイヤーの位置、身長を測定し、上下角度の自動調整が行われる
- ・プレイヤーの動きを読み取って合成するモーションキャプチャ技術を使用
 - ・特殊なマーカー付きスーツや、マーカー検出時に使用するトラッカーが不要
 - ・プレイヤーの骨格のさまざまな動きを検出して、リアルタイムに反映させる





演習問題（4）

172

次の表を用いて、後に続くセンサに関する問い合わせに答えなさい

区分	センサの種類	検出対象例
(1)	(a)	光
	(b)	温度
	(c)	圧力
	(d)	加速度
	(e)	位置
	(f)	磁気
	(g)	音
化学センサ	化学・バイオセンサ	pH
その他	その他のセンサ	





演習問題（4）の続き

173

(4-1) 表の区分について、(1)に入る言葉を次の中から選びなさい。

物質センサ、物理センサ、IoT

(4-2) センサの種類(a)から(g)について、検出対象例を参考に、次の中からそれぞれ適切な言葉を選びなさい。

光度センサ、位置センサ、音センサ、磁界センサ、温度センサ、慣性力センサ、圧力センサ

(4-3) 次の検出対象例が、それぞれどのセンサの種類に該当するか、それぞれ答えなさい。表におけるセンサの種類毎に分類し、センサの種類に記載した順に並べること。

熱、振動、ひずみ、角速度、ガス、流量、湿度、電流、放射線、長さ、力、超音波、赤外線、衝撃、電位、重量、トルク、厚み、磁束、二酸化炭素





演習問題（4）の続き

174

(4-4) スマートフォンに備わっているセンサの名称を、10個以上書き出しなさい

- 名称は例えば計測対象を用いた名称でも構いません。何かをセンシング、つまり計測していれば、それをセンサとして扱っても構いません。なお、ある単一センサが結果的に2つ以上の対象を計測できる場合は、1個と数えます。例えば、イメージセンサは、顔センサ、明るさセンサなどにも使う場合がありますが、これらはまとめて1個のセンサとみなします。なお、結果的に同じ対象を計測するにもかかわらず、何らかの理由により異なるセンサが実装されている場合は、それらを2つと数えることができます。ただし、この場合は「なぜ同じ対象を計測するセンサが2つ以上実装されているか」の理由も付記しなさい
- 要するに実装されているセンサの種類を数えること、同じ性質のセンサがあれば、その違いを説明することが、この問題の本質となります。頑張れば、15個程度まで書き出すことができると思います





演習問題（4） 続き

175

注意事項

- これらの設問に対する回答を、Microsoft Wordファイルで作成
- keio.jpで提出すること
- A4 1枚で作成すること
- 最初にタイトルとして「演習問題（4）」と書き、名前と学籍番号を記載すること
このフォーマットに従っていないレポート答案は受け取らない
- 締め切りは7月頭であり、詳細はkeio.jpを確認すること

