ISA100 Wireless Compliance Institute

計装研究会

PA無線ネットワーク
～ISA100.11a規格の特徴とWCIの取組み～

2013年1月23日

ISA　Standard & Practice 理事
ISA100　WCI 理事

笹 嶋　久

内容

- ISA国際標準化活動(Standard and Practice)
- ISA100委員会とISA100 Wireless Compliance Institute (WCI)
- 工業用無線センサとユーザー要求
- ISA100.11a規格仕様の特徴
- 期待される応用例と適用事例
- 計測展2011／2012　紹介

Setting the Standard for Automation™

A Commitment to Cooperation and Standardization for the Global Automation Community

Hisashi Sasajima
ISA Standards & Practice Board

Standards
Certification
Education & Training
Publishing
Conferences & Exhibits

ISA: The International Society of Automation

- Founded in 1945, the International Society of Automation is a leading, global, nonprofit member association of 30,000+ automation professionals engaged in the design, development, production, and application of devices and systems that sense, measure, and control industrial processes and manufacturing operations.
- Providing professional education and training, certification, conferences and exhibits, books and journal publications, and industry standards.
- Headquartered in the US, but with Member Sections in 28 countries worldwide, including Japan, South Korea, Singapore, and India.

- 2010 President: Mr. Nelson Ninin, Yokogawa America Do Sul SA
- 2011 President: Mr. H. L. "Leo" Staples, Oklahoma Gas and Electric (OG&E)
- 2012 President Mr. Robert E. Lindeman, the Aerospace Testing Alliance (ATA)

Mission

Become the standard for automation globally by certifying industry professionals; providing education and training; publishing books and technical articles; hosting conferences and exhibitions for automation professionals; and developing standards for industry.

Vision

To work in partnership with members, customers, and subject-matter experts to disseminate the highest quality, unbiased automation information worldwide

- For more information, please visit www.isa.org .

ISA Standards Development

Standard and Practice

- ISA's standards development procedures are accredited by the American National Standards Institute (ANSI).
- Over 4,000 experts from around the world participate in more than 150 committees.
- Committee voting members must be approved but anyone can be an information member.
- Over 2,000 companies are represented on committees although there are no company voting rights, only individual member voting rights.
- Process is open, transparent, and balanced with no control from any industry sector or type of member (e.g., user, supplier, etc.).

ISA
Standard and Practice Board Members

Voting Members: 24	Needed for quorum: 13	
Dunn, Donald	VP, Co-MD: 100	**Saudi Aramco**
Cosman, Eric	VP-elect MD 99	**Dow Chemical**
Tatera, Jim	Past VP; MD: 76	Tatera & Associates
Bartusiak, Don	Co-MD: 95; MD: 50	**ExxonMobil**
Brett, Pat	MD: 7, 42, 52, 111	Honeywell
Campbell, John	AD	**ConocoPhillips**
Coppler, Mark	MD: 12, 82, 92	Ametek
Dumortier, Bernard	AD	Schneider Electric
Federlein, Jim	AD	Federlein & Associates
Gilsinn, Jim	MD: 71, 90, 99	US NIST
Icayan, Erwin	MD: 18, 60, 98, 101	ACES
Jamison, Jim	MD: 103, 104	EnCana
Lindner, Klaus-Peter	AD	Endress + Hauser
Maggioli, Vic	Co-MD: 84	Feltronics
McAvinew, Tom	MD: 37, 55, 74	Consultant
Russell, Stephen	AD	Valero
Sands, Nicholas	Co-MD: 88, 95, 100; MD: 105	**DuPont**
Sasajima, Hisashi	AD	Azbil Corp.
Schnaare, Ted	MD: 2, 102	Emerson Process Management
Verhappen, Ian	MD: 5, 20	Yokogawa Canada
Weidman, Warren	MD: 75, 93, 96, 97	Consultant
Weiss, Joe	MD: 67, 77, 107	Applied Control Sol.
Wilkins, Maurice	Co-MD: 88; MD: 106	Yokogawa
Zetterberg, Dennis	Co-MD: 84	Chevron
Reimer, Ron	DE, advisory/nonvoting	Consultant
Robinson, Charley	Secretary, nonvoting	ISA Staff




MD = managing director. AD = administrative director. DE = director emeritus (advisory, nonvoting).

ISA Standard and Practice

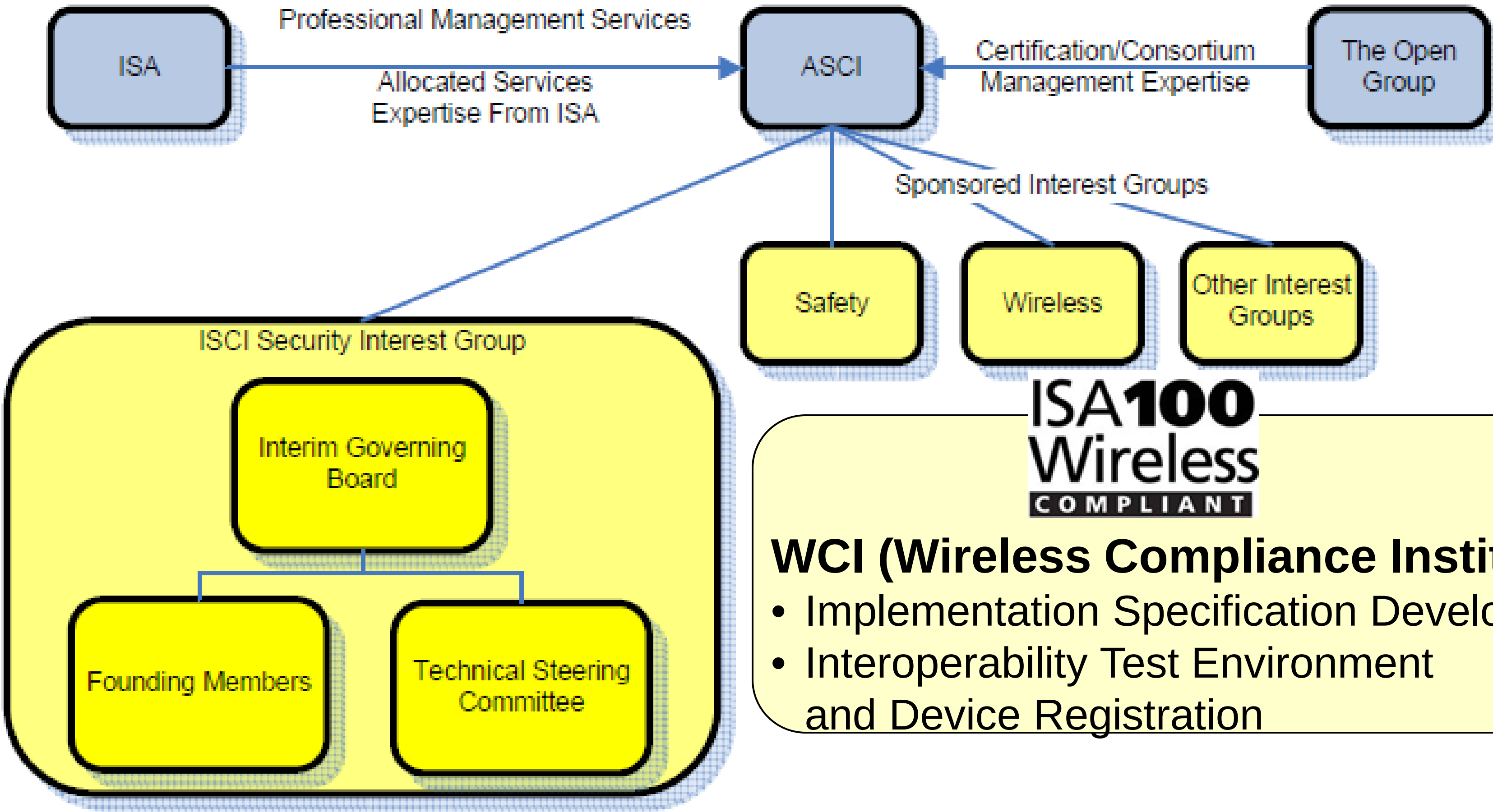
Existing Major Committees

Setting Standard for Automation ™

Committee	Title
ISA 2	Manometer Tables
ISA 5	Documentation of M&C Instruments and System
ISA 7	Instrument Air Standards Committee
ISA12	Electrical Equipment for Hazardous Locations
ISA18	Instrument Signals and Alarms
ISA20	Instrument Specification Forms
ISA37	Measurement Transducers
ISA42	Nomenclature for Instrument Tube Fittings
ISA50	Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems
ISA52	Environments for Standards Laboratories (INACTIVE)
ISA60	Control Centers
ISA67	Nuclear Power Plant Standards
ISA71	Environmental Conditions for Process M&C
ISA75	Control Valve Standards
ISA76	Composition Analyzers
ISA77	Fossil Power Plant Standards
ISA82	Electrical and Electronic Instrumentation
ISA84	Prog. Electronic Systems (PES) for Use in Safety Apps
ISA88	Batch Control
ISA90	Instrumentation and Computer Grounding
ISA92	Performance Requirements for Industrial Air Measurement Instruments Related to Health and Safety
ISA93	Sealing Technologies Committee
ISA95	Enterprise- Control System Integration
ISA96	Valve Actuator Committee
ISA97	In-Line Sensors
ISA99	Manufacturing and Control Systems Security
ISA100	Wireless Systems for Automation
ISA101	Human-Machine Interfaces
ISA102	High-Power Research and Dev. Electrical Systems
ISA103	Field Device Tool Interface Specification
ISA104	Electronic Device Description Language
ISA105	Commissioning, Loop Checks, and Factory & Site Acceptance/Integration Tests for Industrial Automation Systems
ISA106	Procedural Automation for Continuous Process Operations
ISA107	Advanced Measurement Techniques for Gas Turbine Engines
ISA108	Intelligent Device Management
ISA111	Unified Automation for Buildings

New Approach for Standards

Automation Standards Compliance Institute (ASCI)

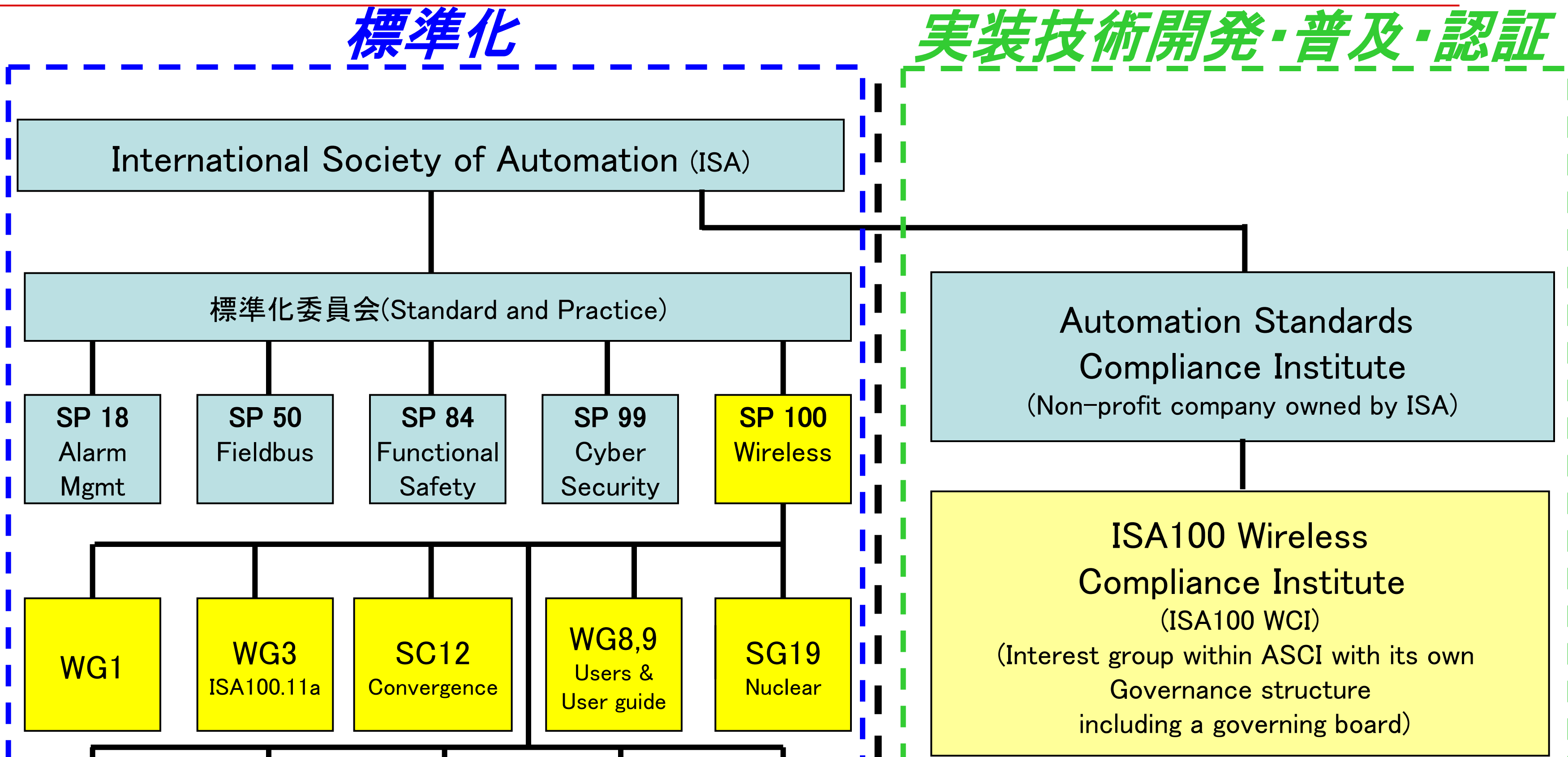


ISA100 Wireless COMPLIANT

WCI (Wireless Compliance Institute)

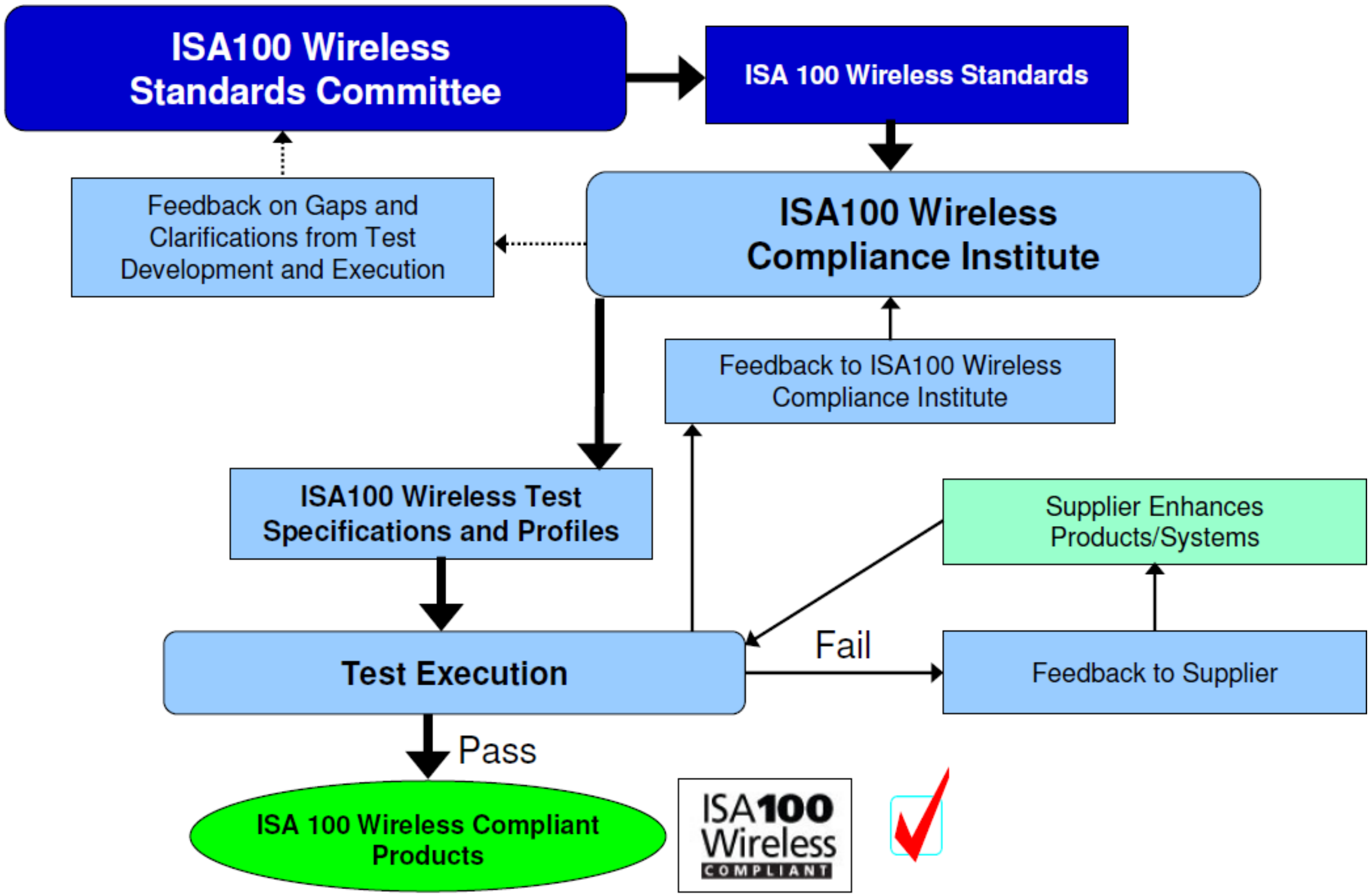
- Implementation Specification Development
- Interoperability Test Environment and Device Registration

ISAとISA100委員会、ISA100 WCIの関係



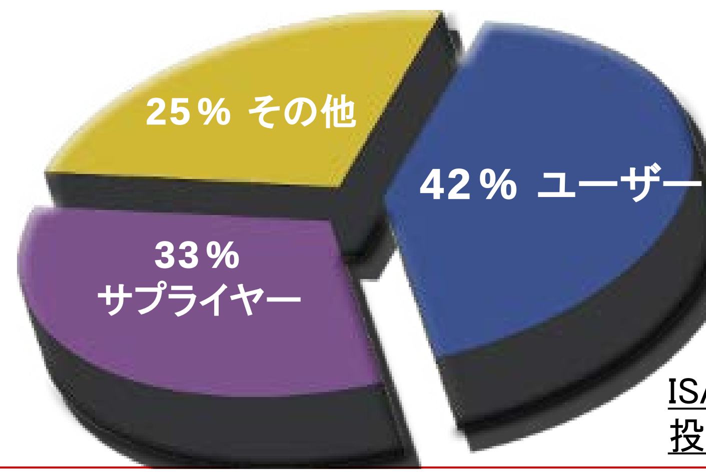
ISA100 WCI（Wireless Compliance Institute）はISA（国際計測制御学会）傘下の非営利コンソーシアムです。

WCI のISA100規格対応機器の適合性認証スキーム



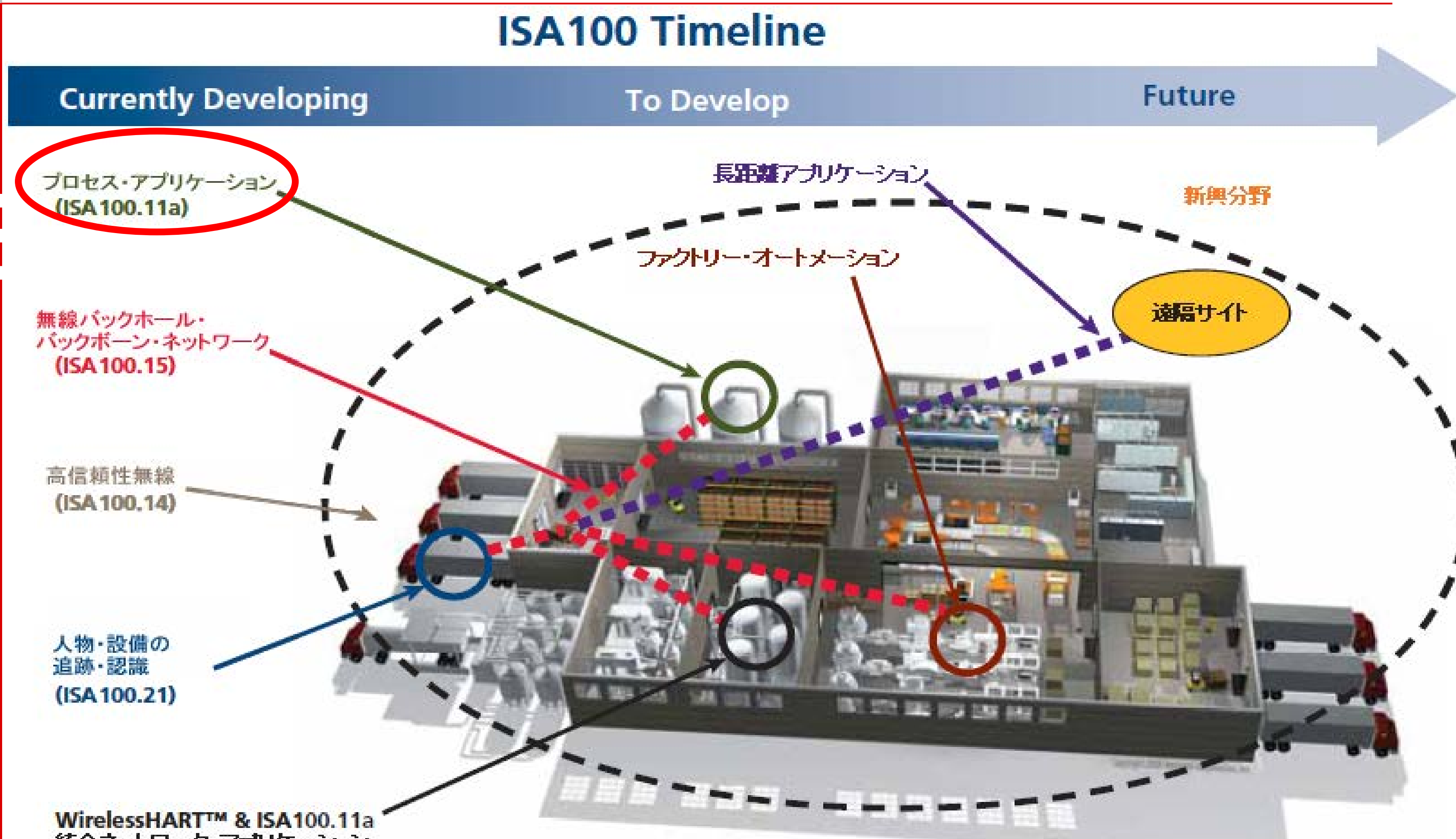
ISA100委員会

- 2005年にISAの標準化委員会（SP）のひとつとして設置
- 組織構成
  - **250**の企業から、**400名**以上が委員に登録
  - 世界各国の各方面の専門家が参加
    - 無線機器、ネットワーク機器、フィールド機器、制御システムベンダー、他
  - 合意形成型の標準化審議プロセス
    - ユーザー、メーカ、その他の委員の適正な構成比率



ISA100委員会
投票権比率

ISA100ファミリー



プラントワイドな無線ファミリー標準

ISA100 歴史と歩み

IEC/CDV. Tokyo — Jan 2013

IEC/PAS PAS approved — August 2011

ISA100.11a-2011 Formally Ratified — May 2011

WCI Certified the First Group of ISA100 Wireless Products — June 2010

WCI Selected NTS as Independent Testing Lab — May 2010

Official ISA100 Demonstration. Arkema Chemical, Crosby, TX — Oct 2009

ISA100.11a-2009 Formally Ratified — Sept 2009

Wireless Compliance Institute formed – certification body — Oct 2008

ISA100 Participation Explodes
Scope expands to address End User Needs
Meetings around the world
ISA100.11a Standard Refined — 2006 – 2009

ISA100 is formed — Oct 2005

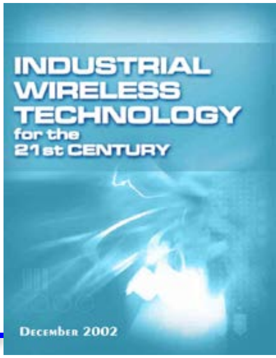
Message is clear: An End User Driven
Industrial Wireless Standard is Needed

Sept 2004 — DOE Program & WINA Voice of the Customer surveys

April 2004 — Wireless Industrial Networking Alliance (WINA) formed.

May 2003 — DOE Program sponsorship for Industrial Wireless Development

Dec 2002 — DOE Industrial "Why Wireless" Report



July 2002 — Dept of Energy(DOE) Sponsored Workshop on Industrial Wireless Sensors, San Francisco, (40 invited attendees)

ISA100支持企業例

ISA100 Wireless Compliance Institute

- WCI はISA100工業用無線を導入するユーザーや製品開発するベンダーを支援するための組織であり、以下のサービスを提供します。
  - フィールド機器技術開発(IP)と相互運用性試験ツールの提供
  - 相互運用性試験ツールの提供、試験実施と認証登録
  - 技術普及、教育
- WCIは、ISA100無線技術の実装と導入に必要な時間、コスト、リスクの低減をミッションとして上記技術普及活動を行っています。
- 独自のIPをメンバーで共有化

ISA100Wireless

ISA100　WCI メンバー

Supplier Member

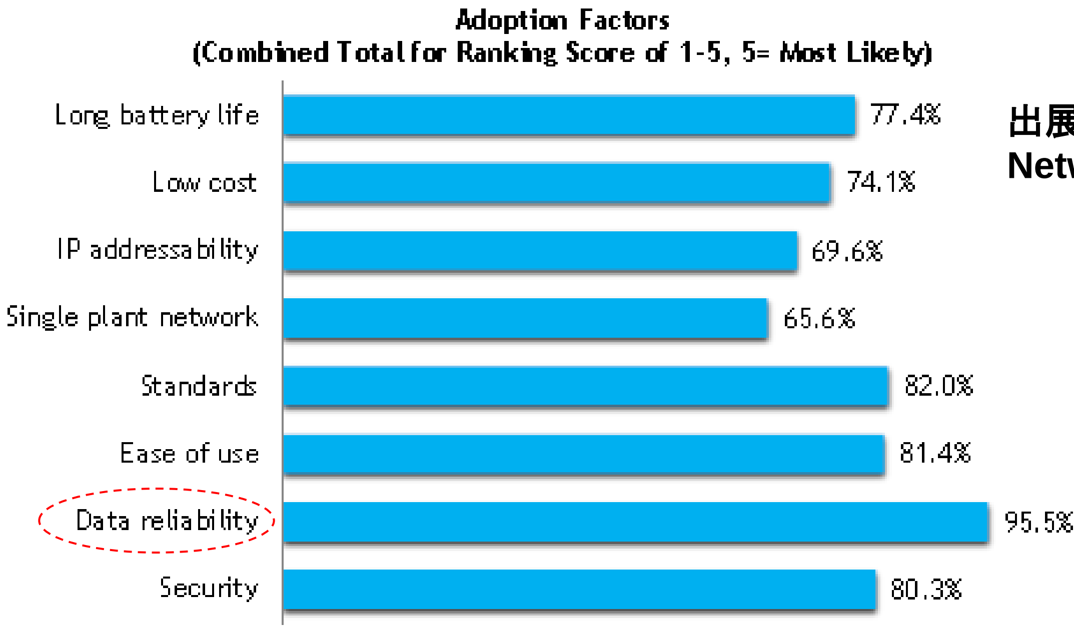
- Apprion
- **Azbil**
- COSASCO
- CQUPT
- Eltav
- Flowserve
- Fuji Electric
- Gastronics
- **General Electric**
- **Honeywell**
- Nivis
- Perpetuum
- Phoenix Contact
- R3 Sensors
- TLV
- **Yokogawa**

Non-Supplier Member

- BP
- Chevron
- **Chongqing University of Posts and Telecommunications （中国　重慶郵電大学）**
- **Exxon Mobil Research & Engineering**
- Shell Global Solutions

青色：理事会社

Voice of the Customer (ユーザーの声)
工業用無線の現場導入に関する懸案事項

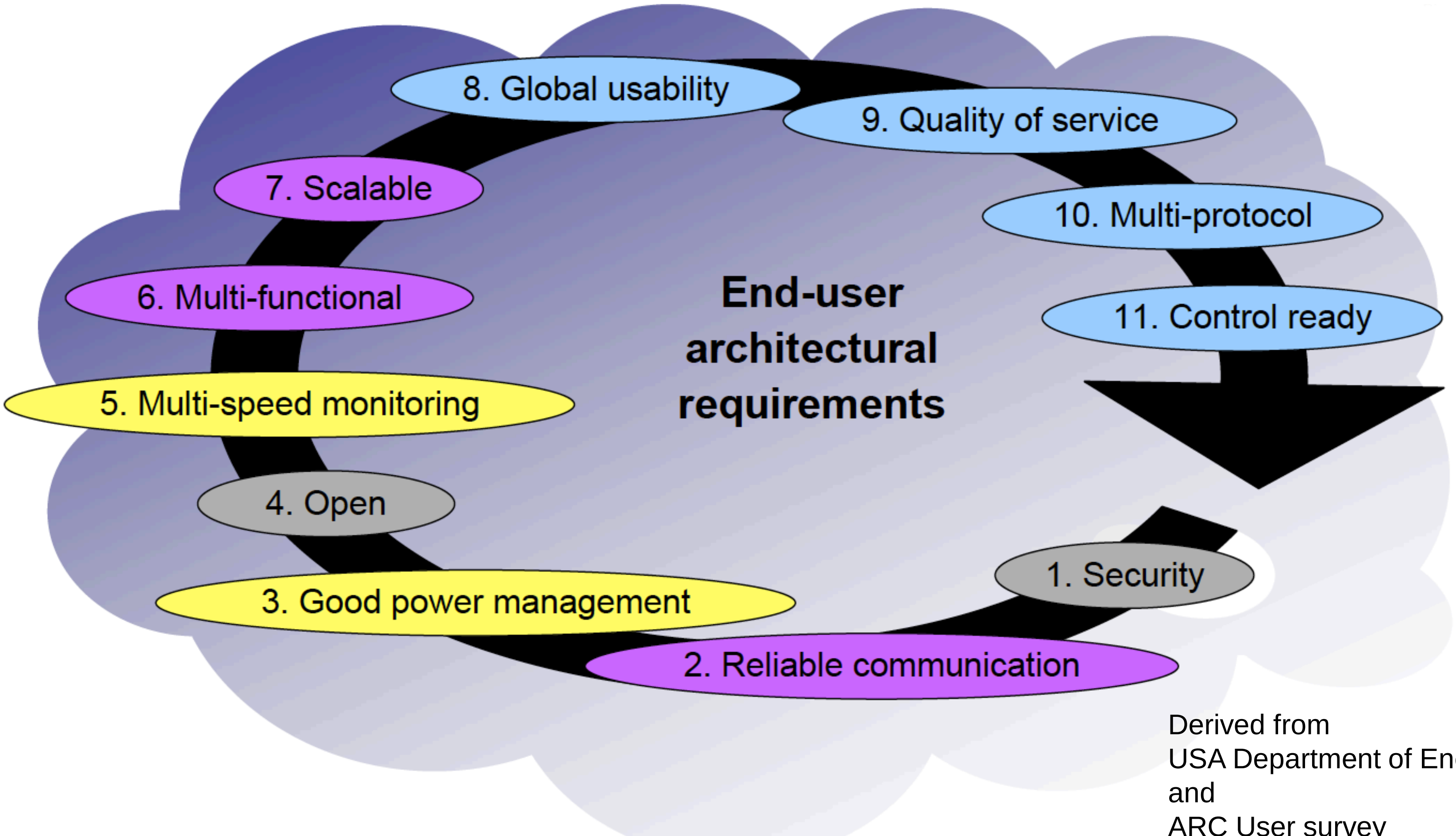


出展: "Industrial Wireless Sensor Networks," ON World March 2010

- ユーザーは工業無線の現場導入に関し、無線伝送データの信頼性に関心がある。
- その他、標準化、取り扱いの容易性、データの信頼性、サイバーセキュリティ、電池寿命などに関心がある。

Voice of the Customer (ユーザーの声）

無線センシングに関するユーザー要求



Derived from
USA Department of Energy
and
ARC User survey

ISA100.11aは全ての要求を同時に満足した工業用無線規格です！

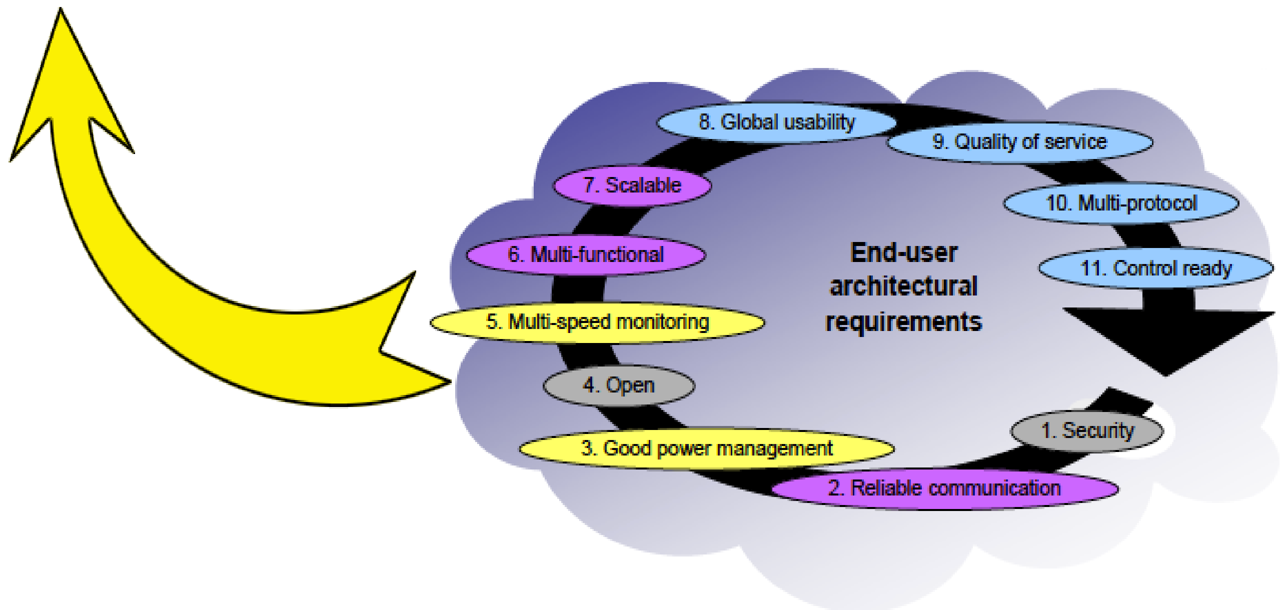
Voice of the Customer (ユーザーの声）
無線センサーネットワークに関するユーザー要求事項と技術要件

セキュリティ	強固な暗号化技術
通信の信頼性	24時間365日稼動；高信頼性
電力管理	電池の長寿命化と交換時期の予測
オープン	複数のサプライヤーからの機器購入
マルチスピード	更新周期の早い機器と、遅い機器の混在
多機能	1つの無線ネットワークで複数のアプリケーション
拡張性	無線フィールド機器の数、地理的、更新周期の拡張性
グローバル	世界各国で適用可能な技術
QOS（通信品質管理）	通信遅延の管理と低通信エラー率
マルチプロトコル	既設有線計装との統合のための投資最小化
コントロール対応	無線適用範囲の拡大

ISA100.11a　規格仕様

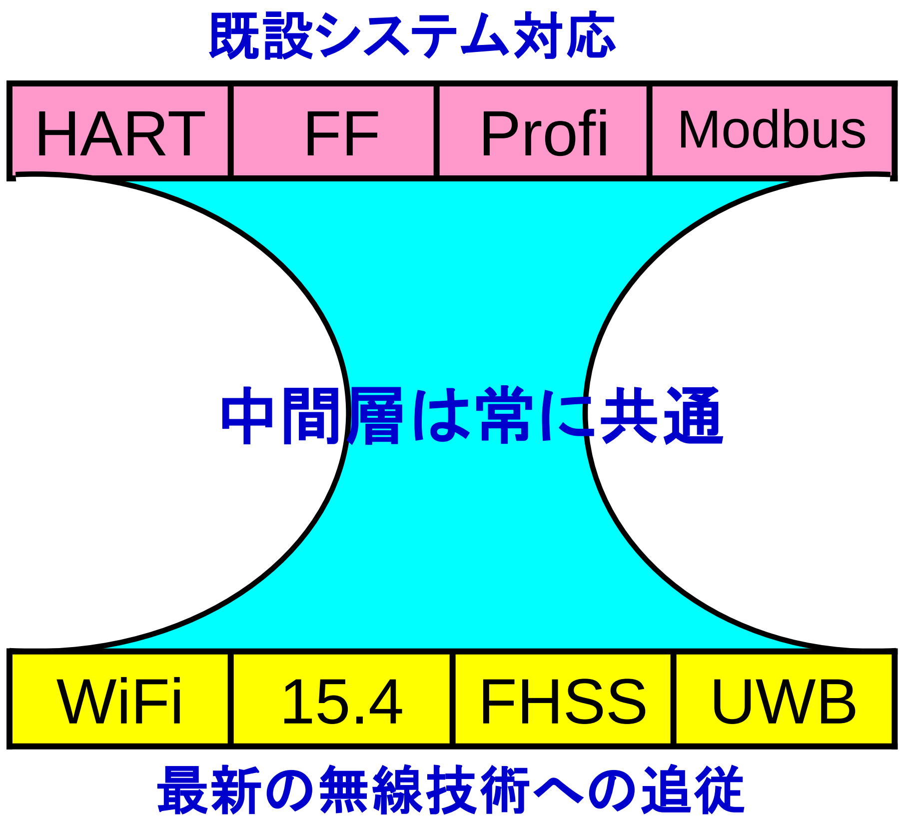
ISA100.11aの特徴とは？

- ✓ 幅広い応用範囲に適用可能
- ✓ 標準化されたIP技術に基づく優れたメッシュネットワーク
- ✓ 拡張性、柔軟性を備えたアプリケーション層



工業用通信のアーキテクチャ

OSIモデル
L7: アプリケーション層
L6: プレゼンテーション層
L5: セッション層
L4: トランスポート層
L3: ネットワーク層
L2: データリンク層
L1: 物理層



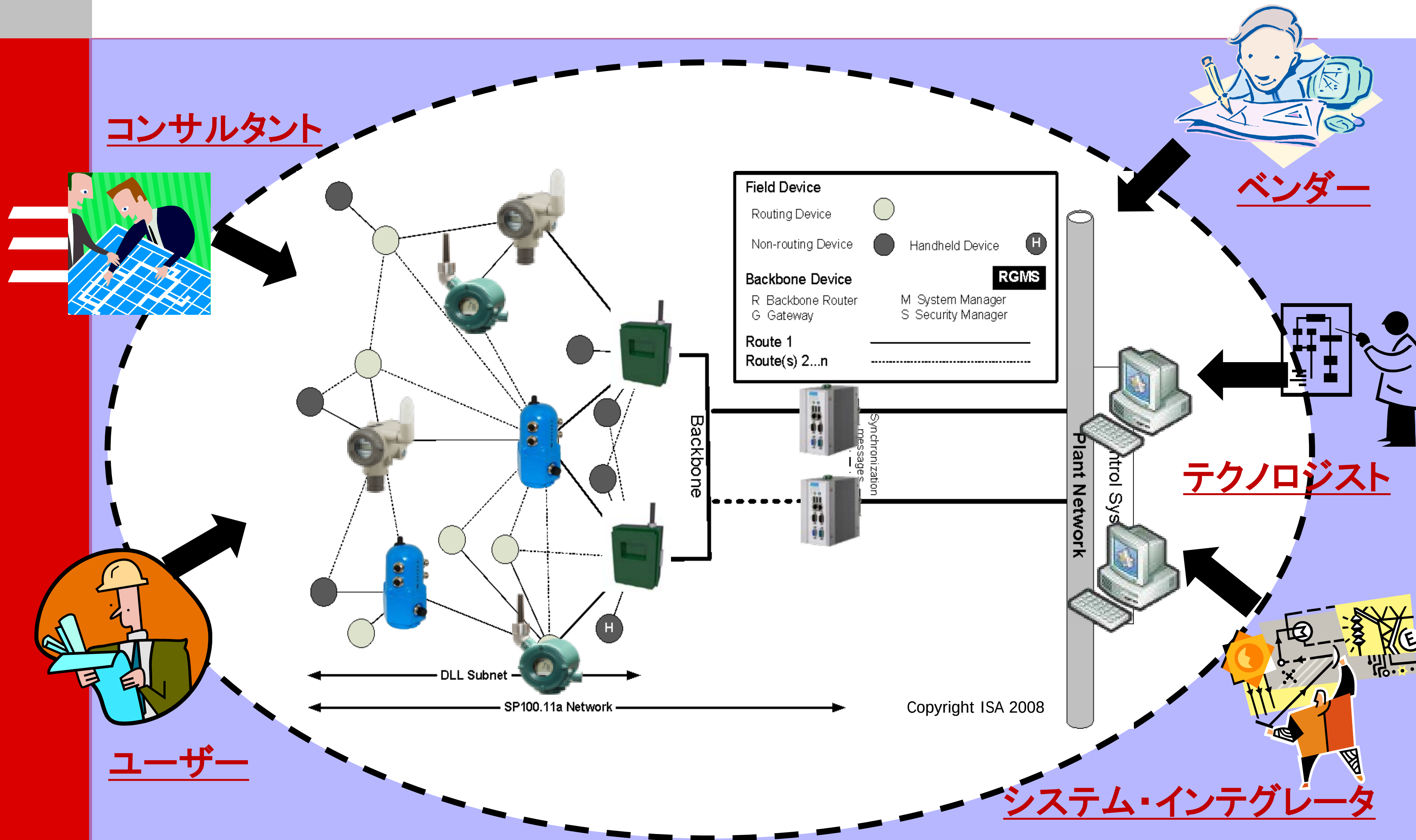
将来の増設･変更に対応可能なアーキテクチャが必要

ISA100.11a
:モニタリング用途だけの無線規格ではない

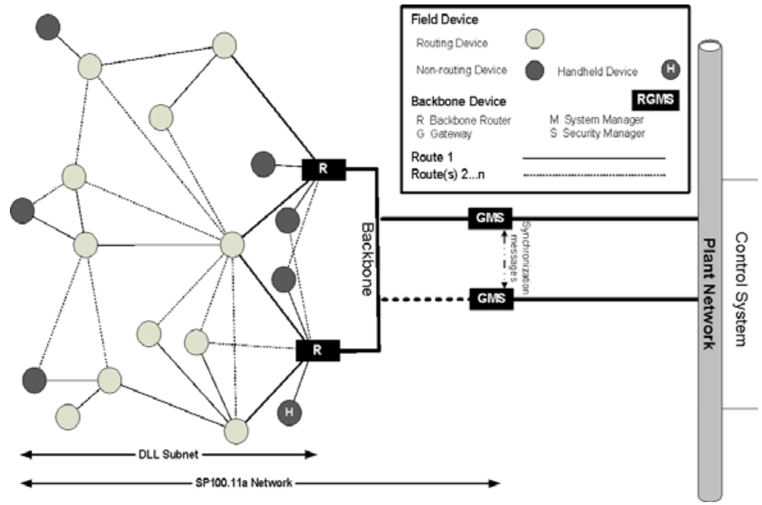
セーフティ	0	緊急動作	常に重要	安全インターロック 緊急シャットダウン 自動消火コントロール
コントロール	1	閉ループ コントロール	頻繁に重要	アクチュエータの一次コントロール 高速カスケード
	2	閉ループ スーパバイザリー コントロール	通常は重要でない	低速カスケードループ マルチバリアブル・コントロール
	3	開ループ コントロール	人が介在したコントロール	手動操作 遠隔操作による入門ゲートコントロール 手動によるポンプ、バルブの設定・調整
モニタリング	4	警報	単発的	イベントにもとづく保守作業 バッテリ交換、設備追尾・管理
	5	ログ、 ダウンロード、 アップロード	緊急性が低い	履歴収集 保全・保守・診断 アラーム、イベントの報告

ISA100.11aの適用範囲

ISA100.11a アーキテクチャ



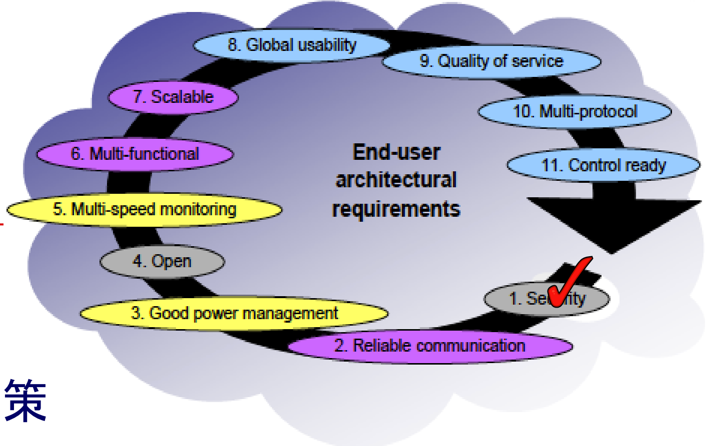
ISA100.11a メッシュ・ネットワーク・デザイン

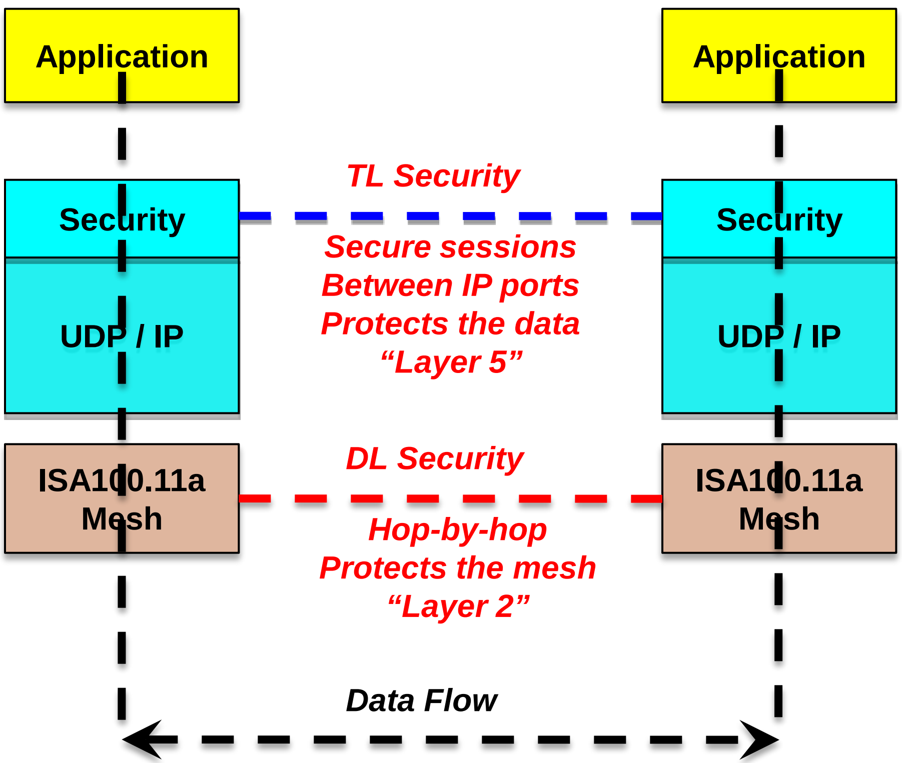


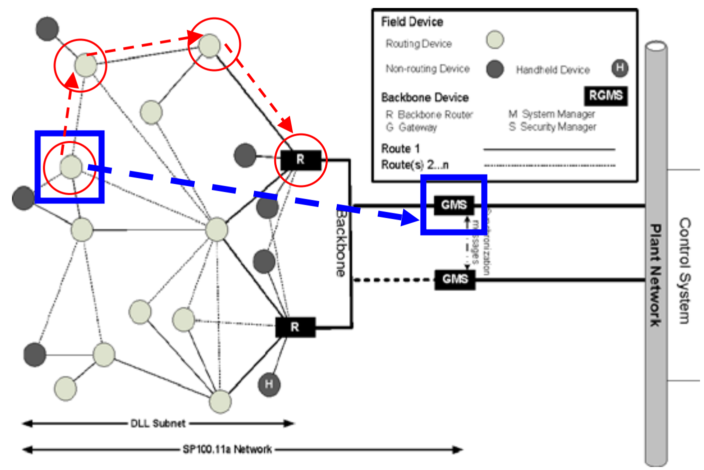
1. IPベースのバックボーン
2. データの認証と健全性の確保
3. 中継経路の順応性
4. 電池の長寿命化と交換時期の予測
5. 時間確定応答型のスケジュール通信
6. WiFi (IEEE 802.11)との共存可能
7. マルチパス干渉の低減
8. ユーザーによるメッシュ・アーキテクチャの選択と展開

ISA100.11a
1. セキュリティ

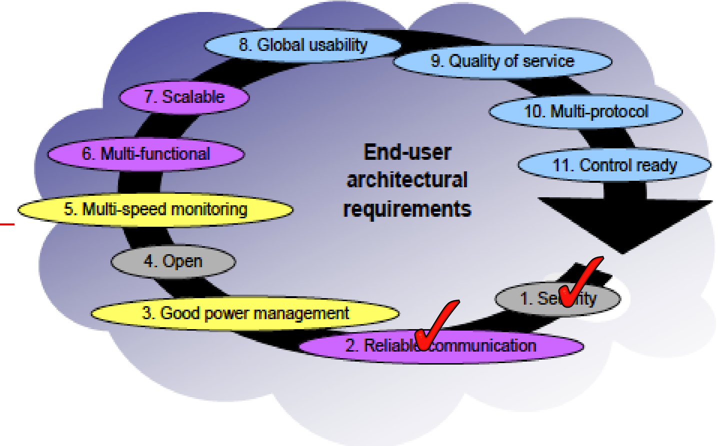
- データリンクとトランスポート層のセキュリティ
- AES 128 暗号化
- TAI Nonce (Number of Once) : リプレイ攻撃対策
- Over The Air (OTA) プロビジョニング



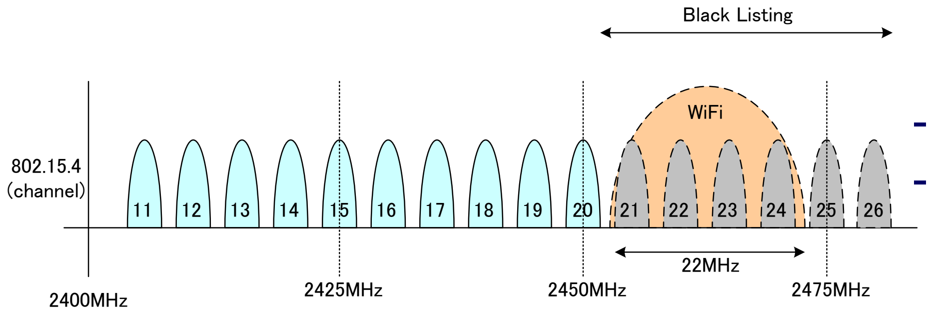




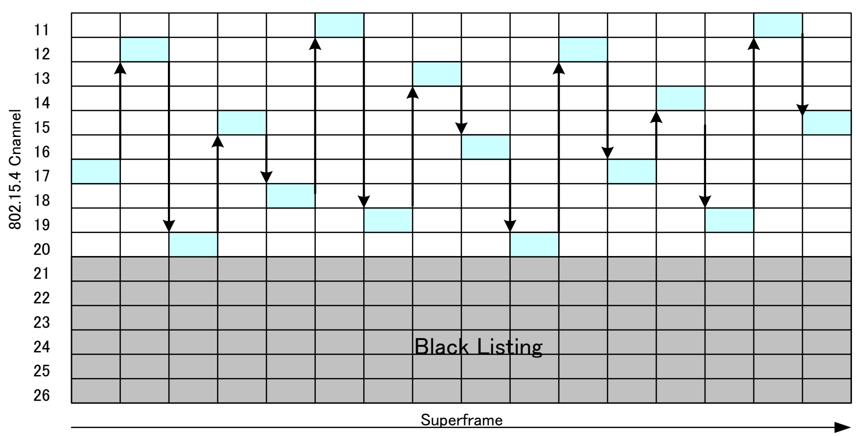
ISA100.11a
2. 通信の信頼性

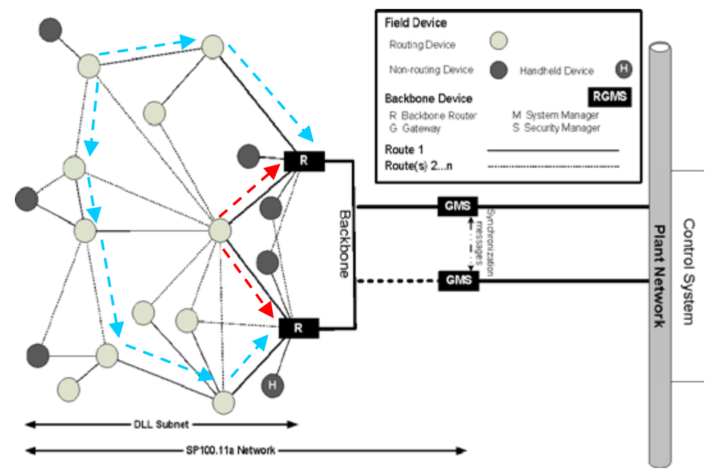


-チャネルホッピングによる干渉回避
-チャネル・ブラックリストによるWiFiとの共存

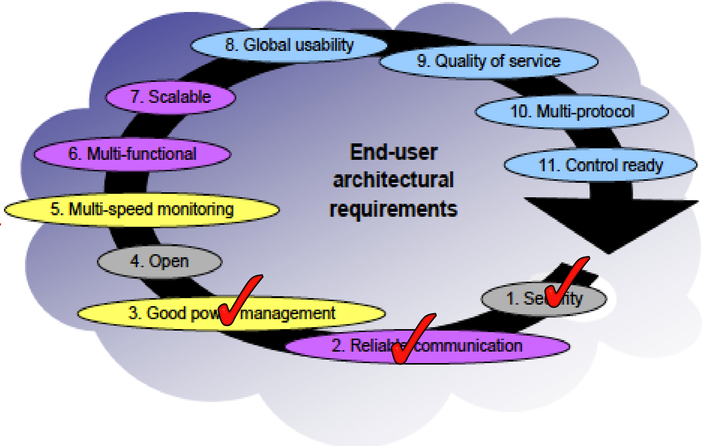


- メッシュネットワークによる経路冗長化
- Duo castによる二重化伝送





ISA100.11a
3. 電力管理

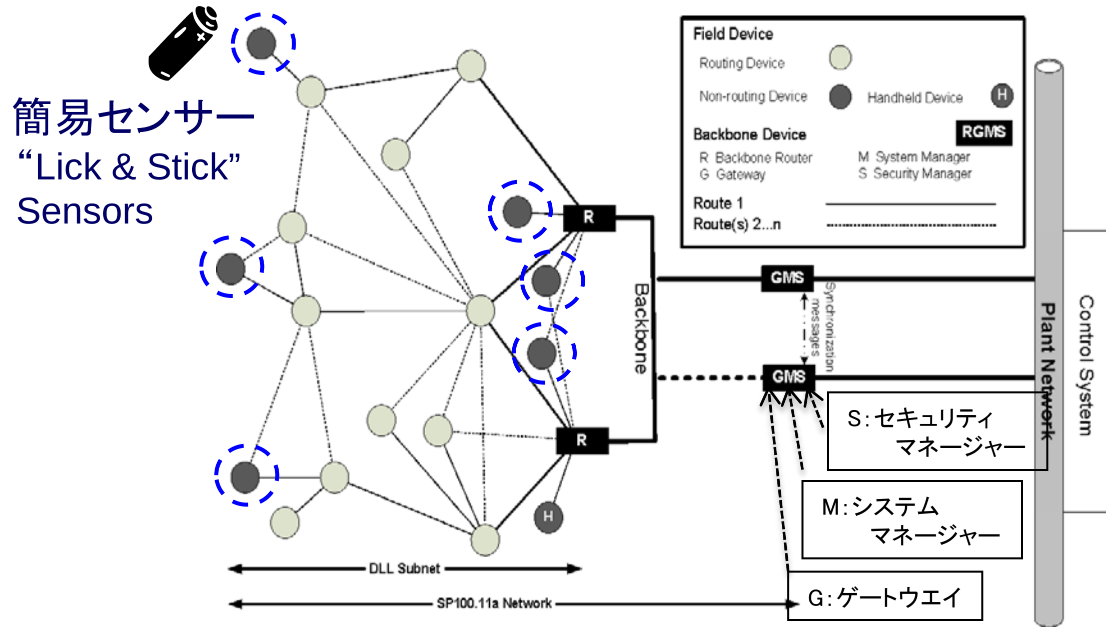


- ルーティング機能を持たない低消費電力機器

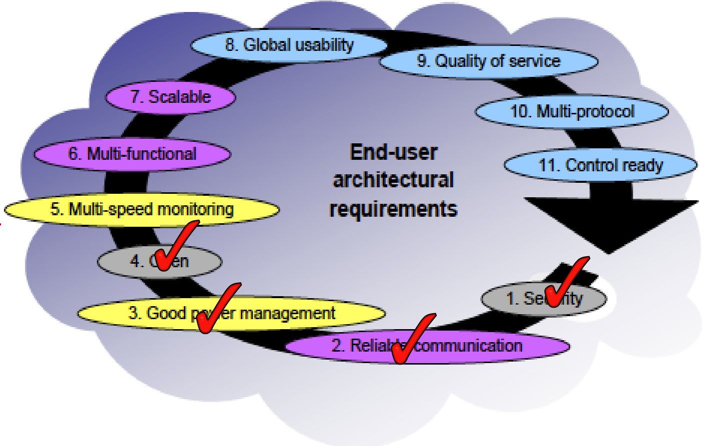
簡易センサー（“Lick & Stick” Sensors）への応用

- メッシュネットワークの電力管理

- ISA100.11a では各フィールドデバイスが電池期待寿命とエネルギー関連情報をシステムマネージャに報告する
- システムマネージャは各フィールドデバイスからのエネルギー残量の報告をもとに通信リンクを再構成してネットワーク全体として電池寿命の長期化を図る

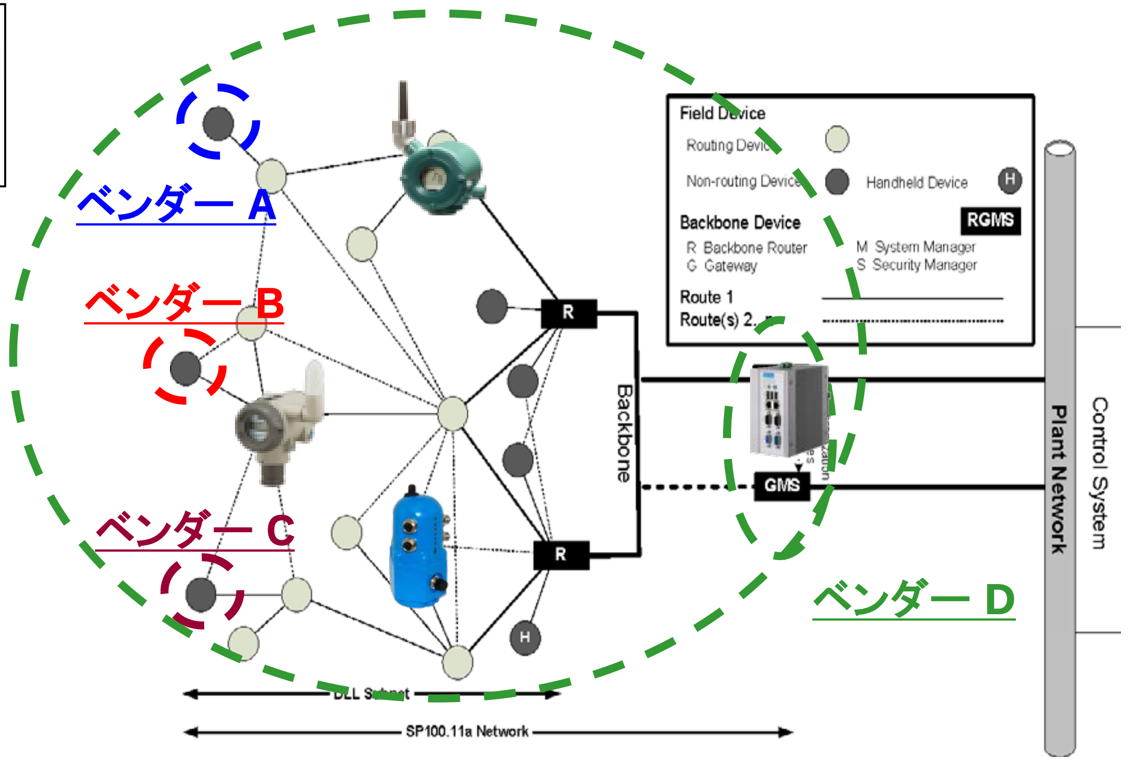


ISA100.11a
4. オープン

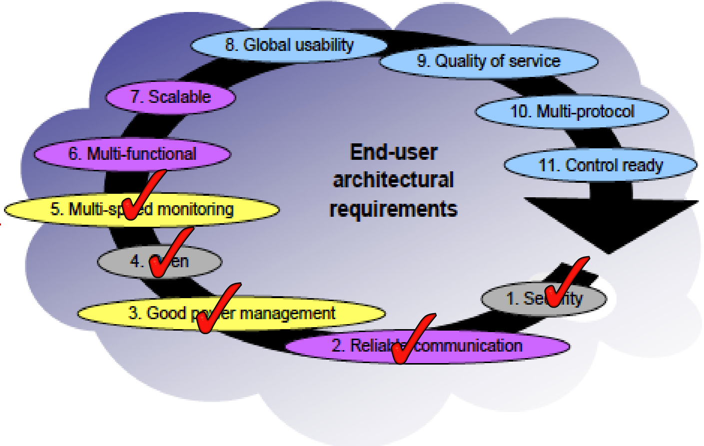


- ISA100.11a規格に適合した複数ベンダーの機器による相互運用性無線ネットワークの実現
- WCI がISA100.11a 規格適合性を認証

ISA100 Wireless COMPLIANT



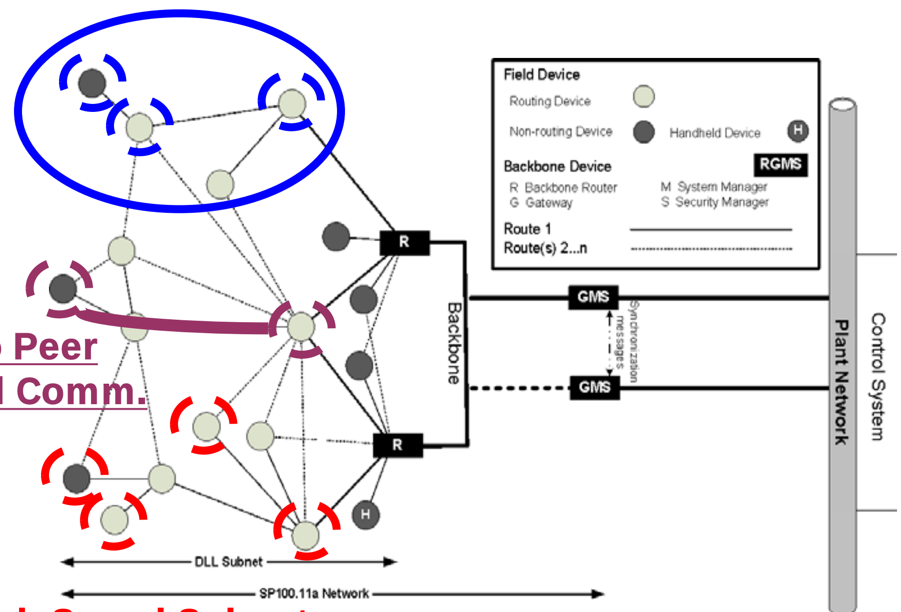
ISA100.11a
5. マルチ・スピード



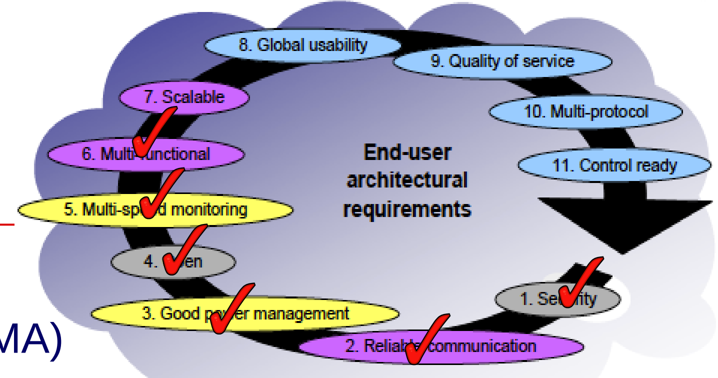
-マルチ・サブネットによる異なる
アプリケーション（更新周期）への対応

ISA100.11a は以下のようなデータ更新スピードの要求が異なる場合でも同じネットワークインフラでサポート可能です:

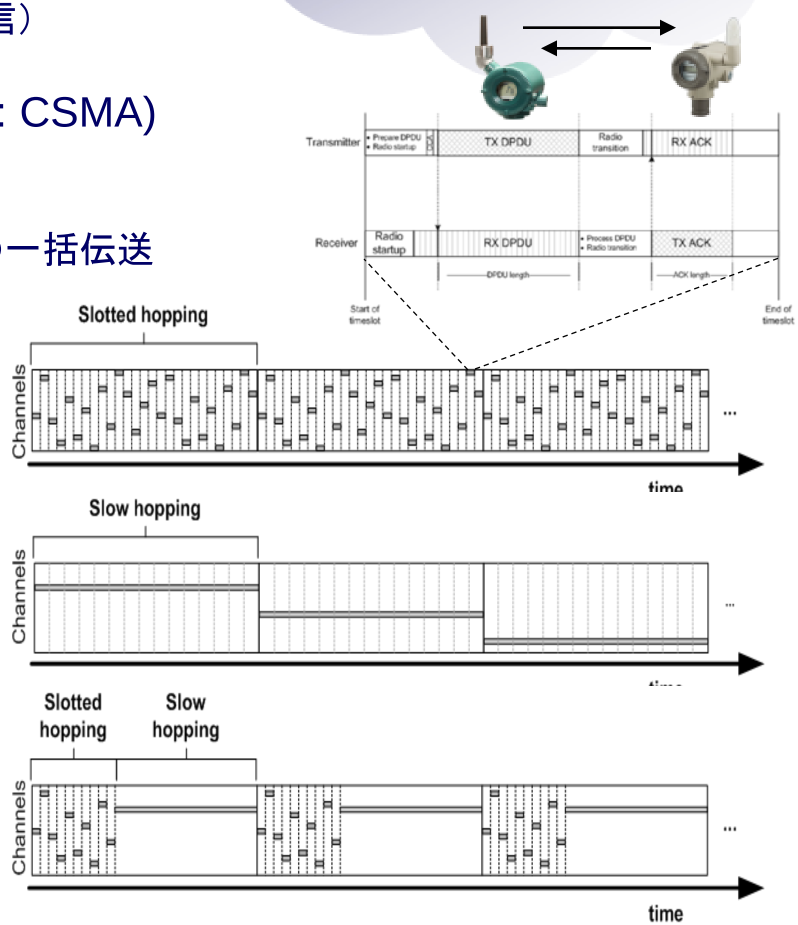
1. 即時性を要求しない手動・自動化モニタリング又はアラーム
2. 即時性を要求する自動化モニタリング又はアラーム
3. 自動化コントロール：P2P



ISA100.11a
6. 多機能



- タイムスロット長の構成の柔軟性
  - ショートタイムスロット (Slotted hopping mode: TDMA)
    - 時間確定型応答通信（定周期通信）
  - ロングタイムスロット (Slow hopping mode: CSMA)
    - 拡張メッセージの受容
    - エラーメッセージの再試行
    - データサイズの大きいメッセージの一括伝送



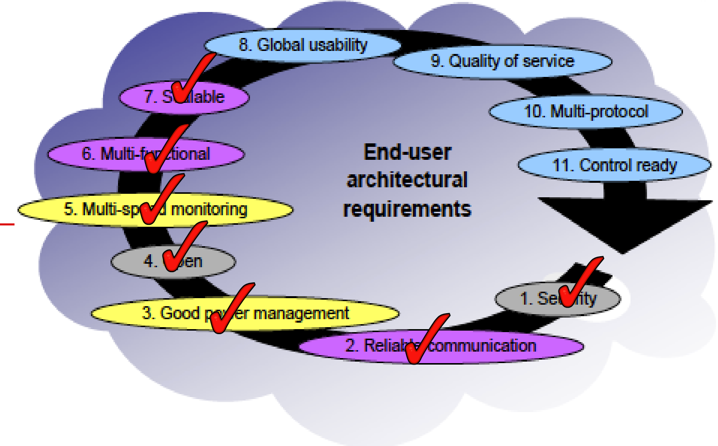
-Slotted hopping mode (TDMA)
(TDMA: Time Division Multiple Access)
時間確定型応答通信用（例：プロセスデータ）

-Slow hopping mode (CSMA)
(CSMA: Carrier Sense Multiple Access)
振動波形のようなデータサイズの大きいデータ伝送用

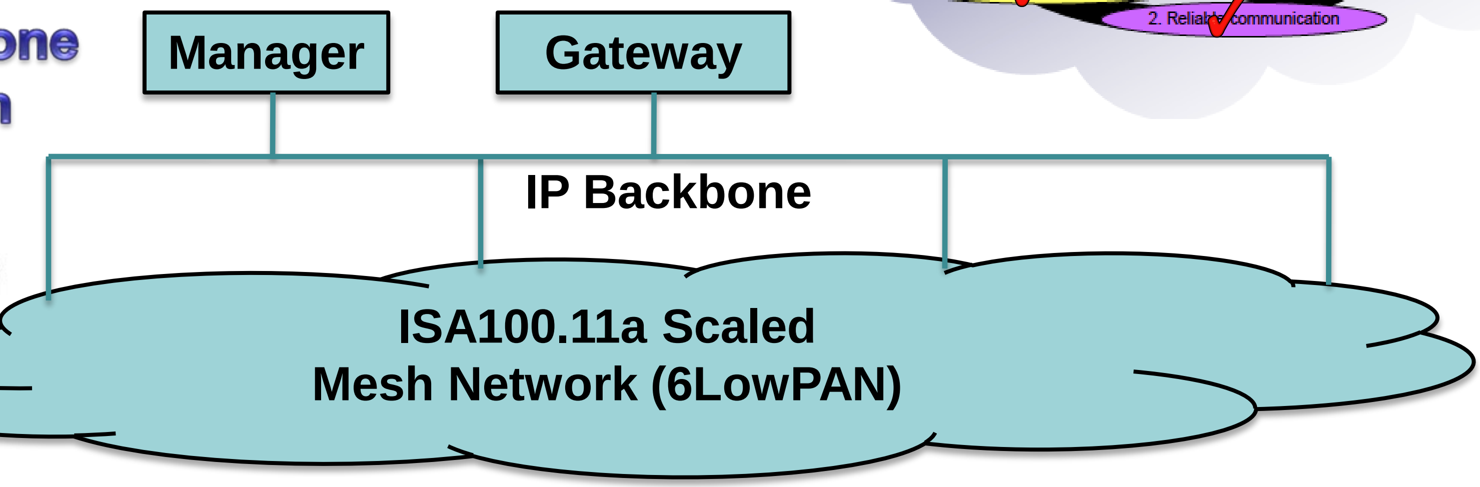
- Hybrid mode (TDMA/CSMA)

ISA100.11a
7. 拡張性

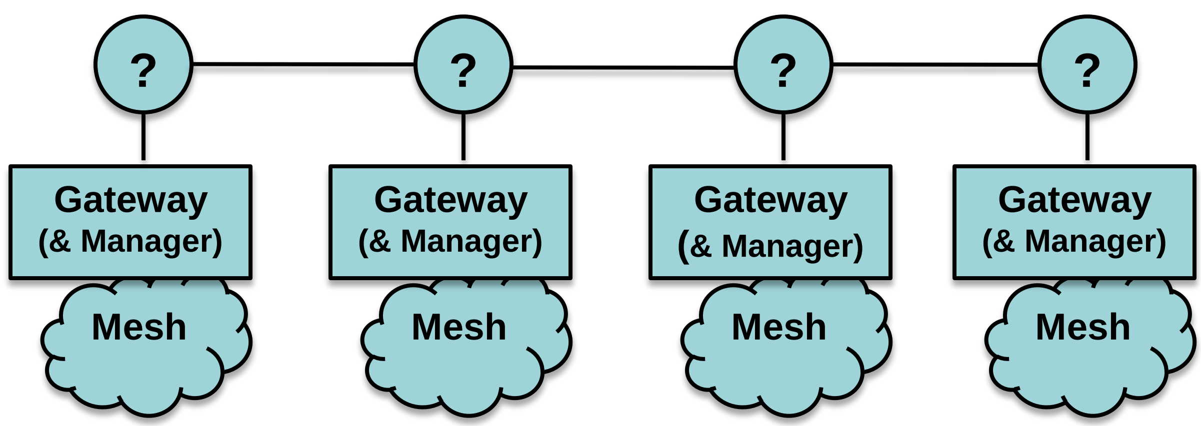
- ISA100.11a ネットワークアーキテクチャはIPベース



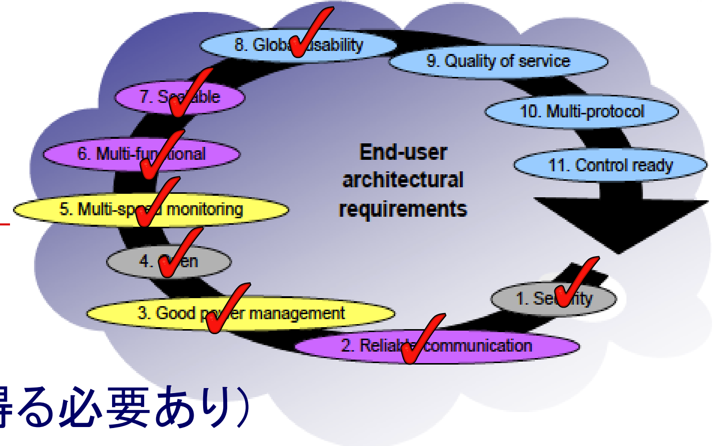
IP Backbone to Mesh



Mesh to Gateway

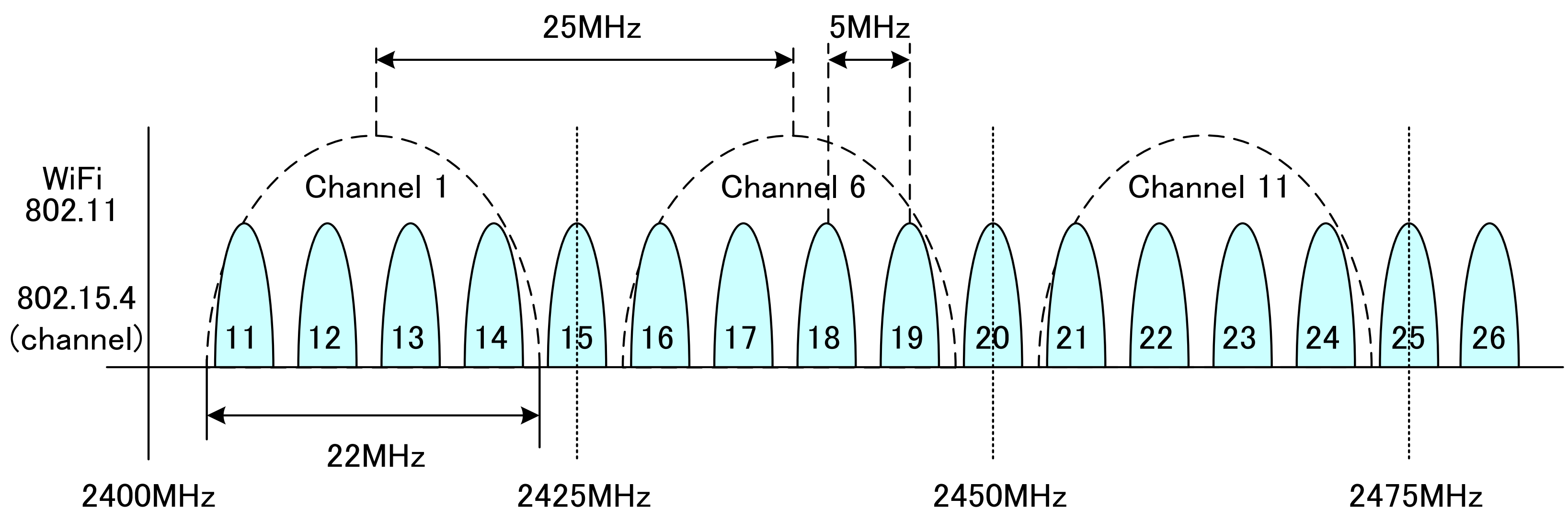


ISA100.11a
8. グローバル



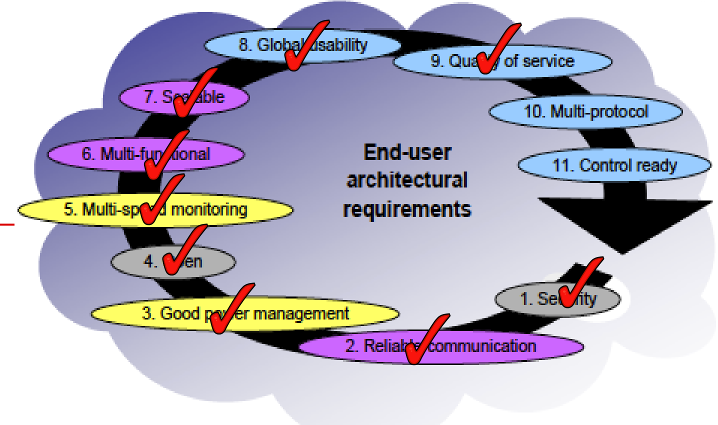
- IEEE 802.15.4 ラジオ: 2.4GHz ISMバンドは
  世界中で免許不要で利用可能な周波数帯
  （但し、サプライヤは各国の電波法適合証明を得る必要あり）

- カントリーコード:
  ISA100.11a は世界各国の異なる電波規制要求に基づき、機器の送信出力や使用周波数をカントリーコードで識別して自動的に制限範囲内に変更することができる機能を有している



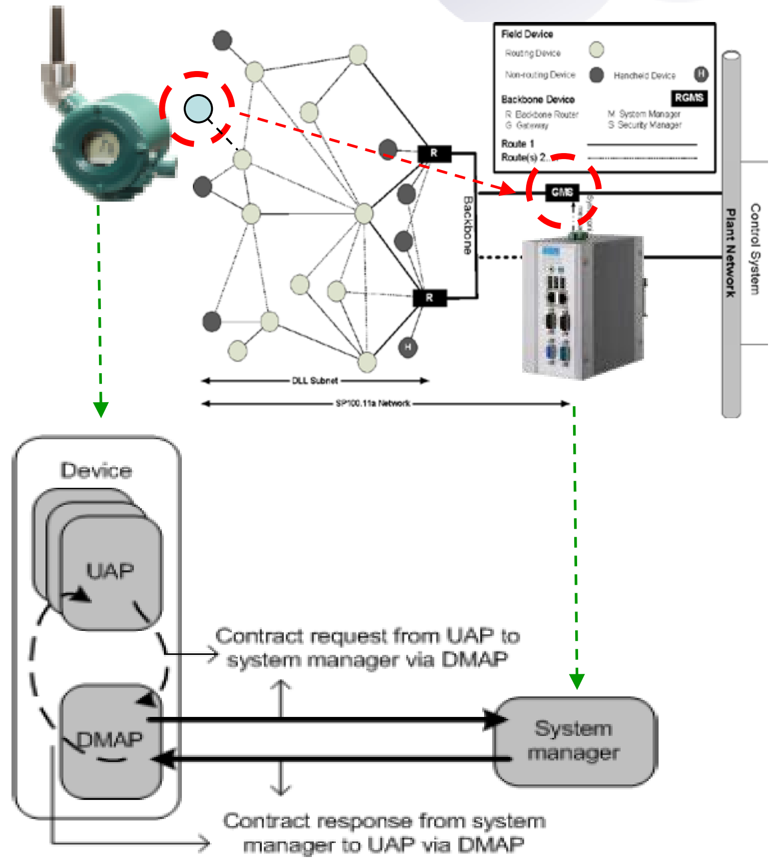
2.4GHz ISM Band

ISA100.11a
9. QOS（通信品質管理）

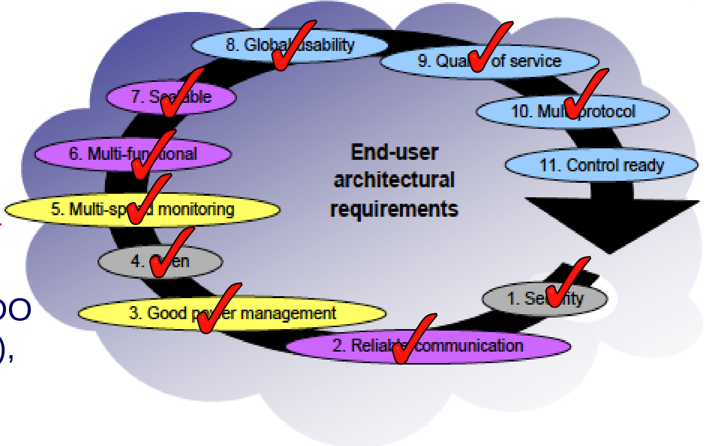


- ISA100.11aではコントラクトという手続きを定義してQOSを実現している

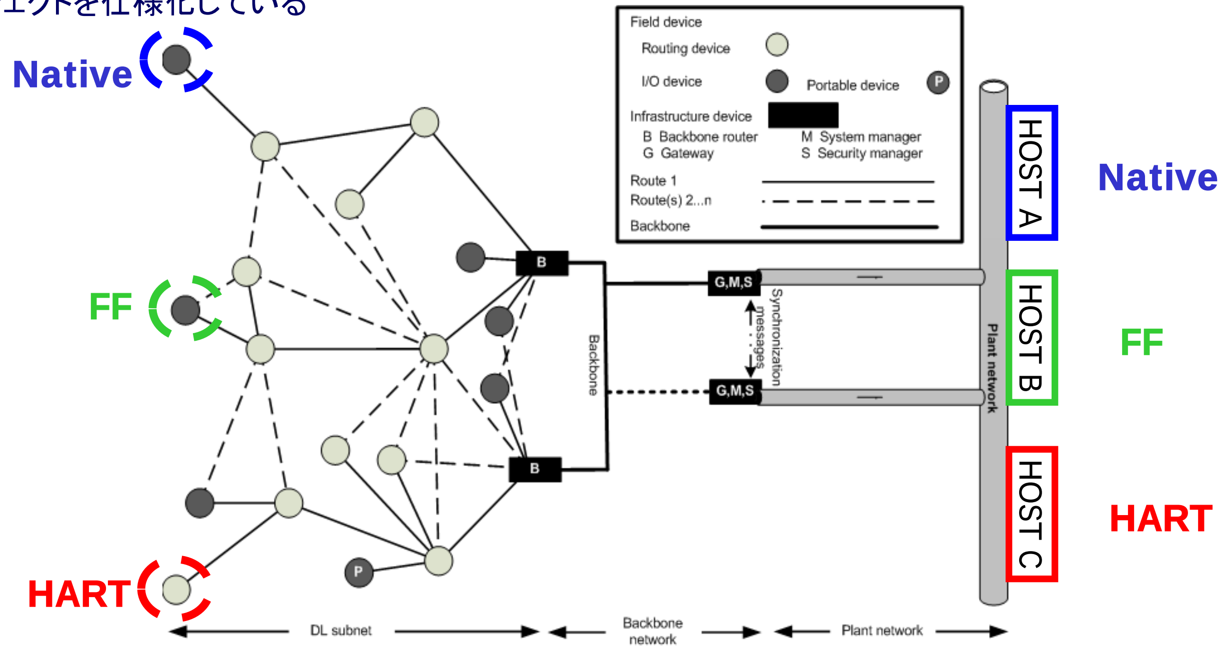
コントラクト：
　システム・マネージャとフィールドデバイスの間のネットワークリソース利用に関する手続き。具体的には、機器がネットワークに参加する際にネットワーク内の伝送経路や使用周波数などのリソースを機器のアプリケーションの要求に応じてシステムマネージャが割り当てを行う行為である。



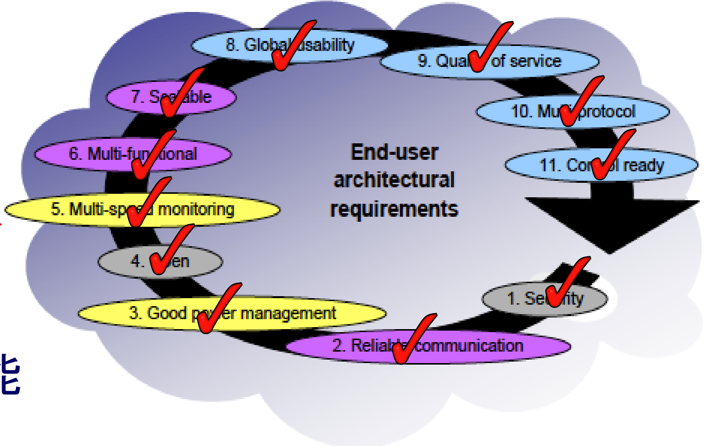
ISA100.11a
10.マルチプロトコル



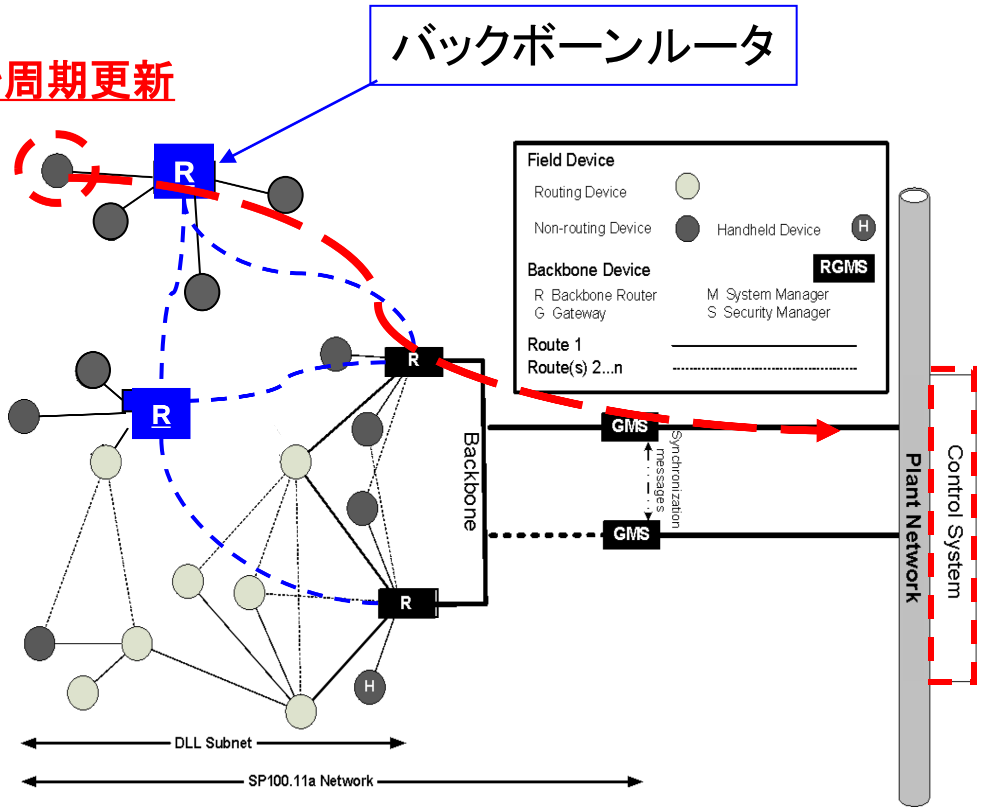
- ネイティブ　モード
  - -基本的なファンクション・ブロックはサポートされている: AI/AO, DI/DO
  - Publish (input) / Subscribe (output), Alerts (events and alarms), Bulk transfer
- トンネリング
  - ISA100.11a上でのレガシーフィールドバスコマンド/サービス
    - -例: HART コマンドをISA100.11a経由でトンネリングして伝送することが可能
- 拡張ネイティブモード
  - ISA100.11a ネイティブモードを利用して拡張オブジェクトを定義（制御バルブ、振動伝送オブジェクトなど）
  - WCIが新しいオブジェクトを仕様化している



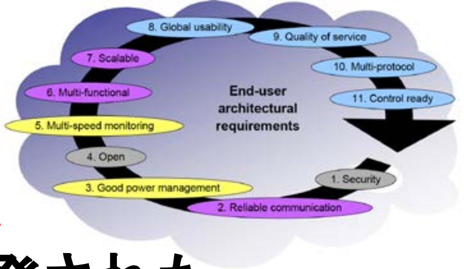
ISA100.11a
11. コントロールへの応用



- バックボーンルーティングとの組み合わせに
より高速更新周期のアプリケーションにも対応可能



まとめ



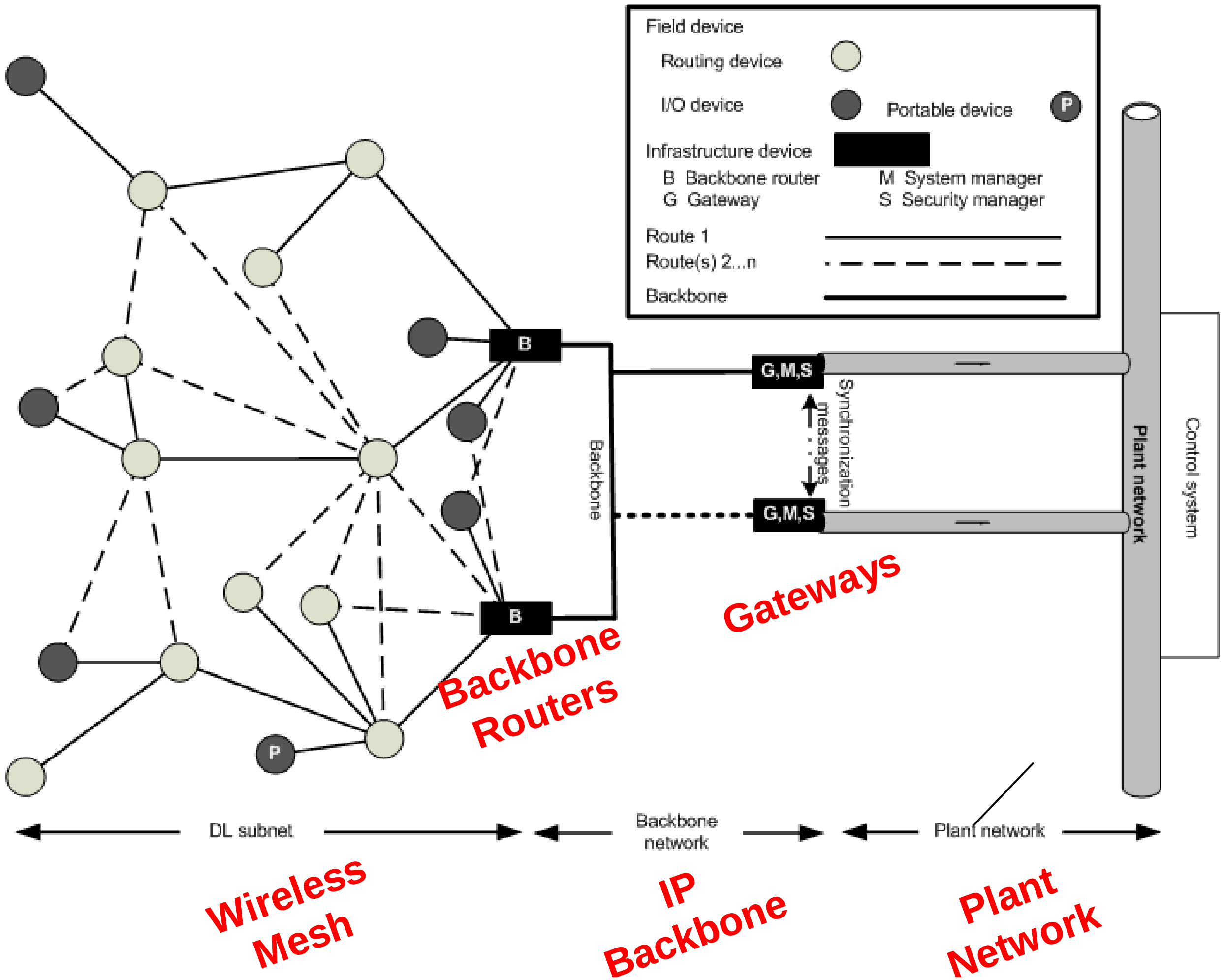
ISA100.11a はユーザー要求に基づいて開発されたプロセス･オートメーションに最適な無線センサネットワーク規格であり、以下の3つの代表的な特徴をもつ。

- ✓ グローバルに広い範囲のアプリケーションに適用可能である
- ✓ 標準化されたIP技術をベースにした洗練されたメッシュネットワーク
- ✓ 強力、柔軟性、拡張性のあるアプリケーション層

ユーザー様にとっての価値

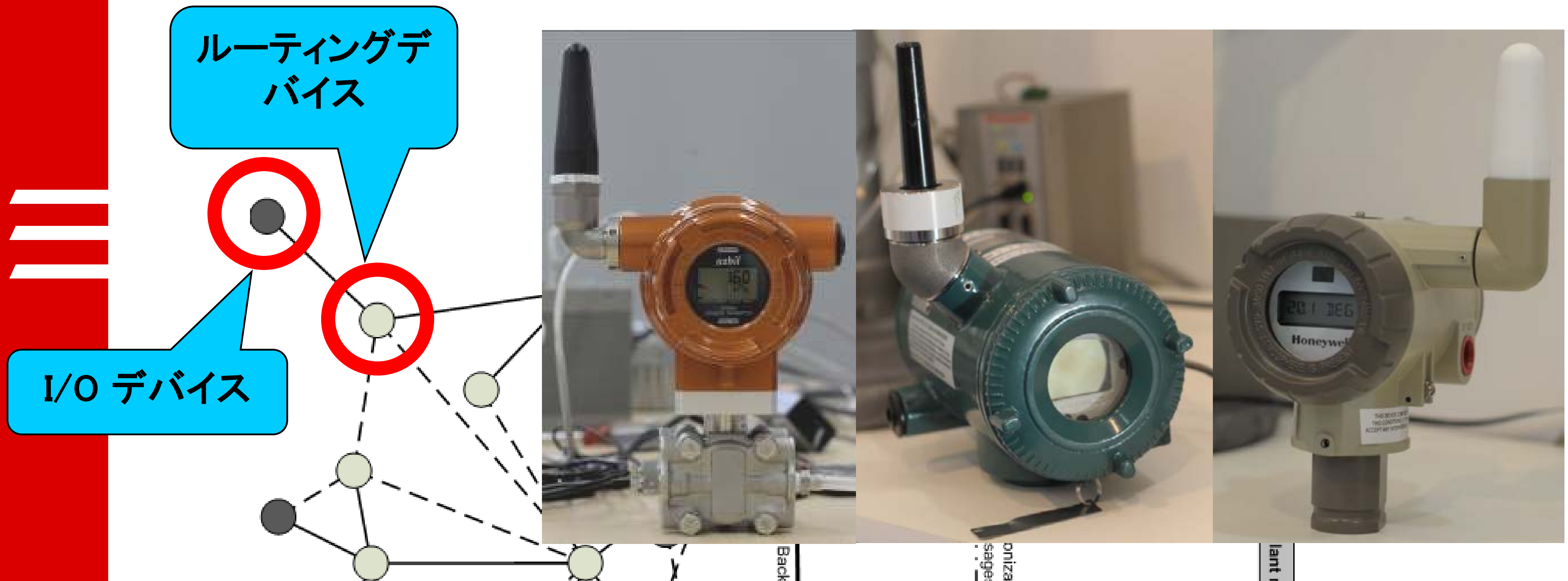
ISA100.11a規格をベースにした工業用無線技術導入は多くの問題解決を実現できると確信しております。

ISA100.11a Network



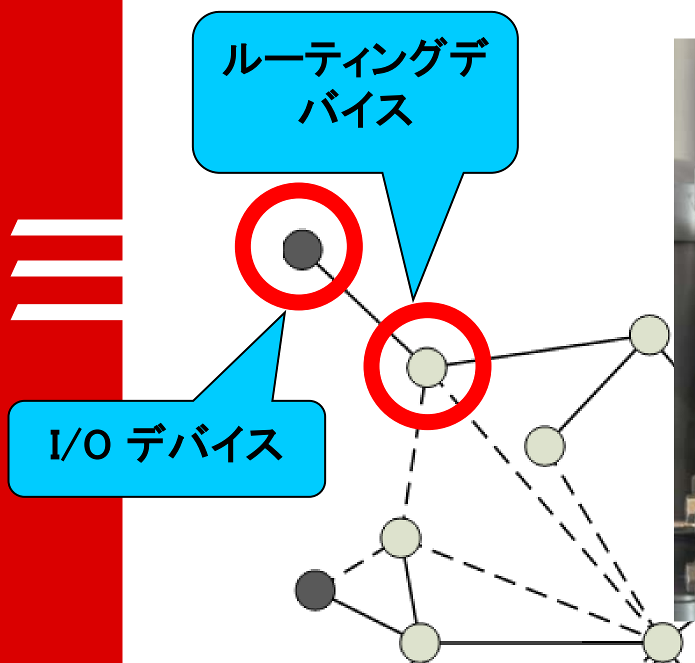
Refer to: ISA100.11a-2009 5.3

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素



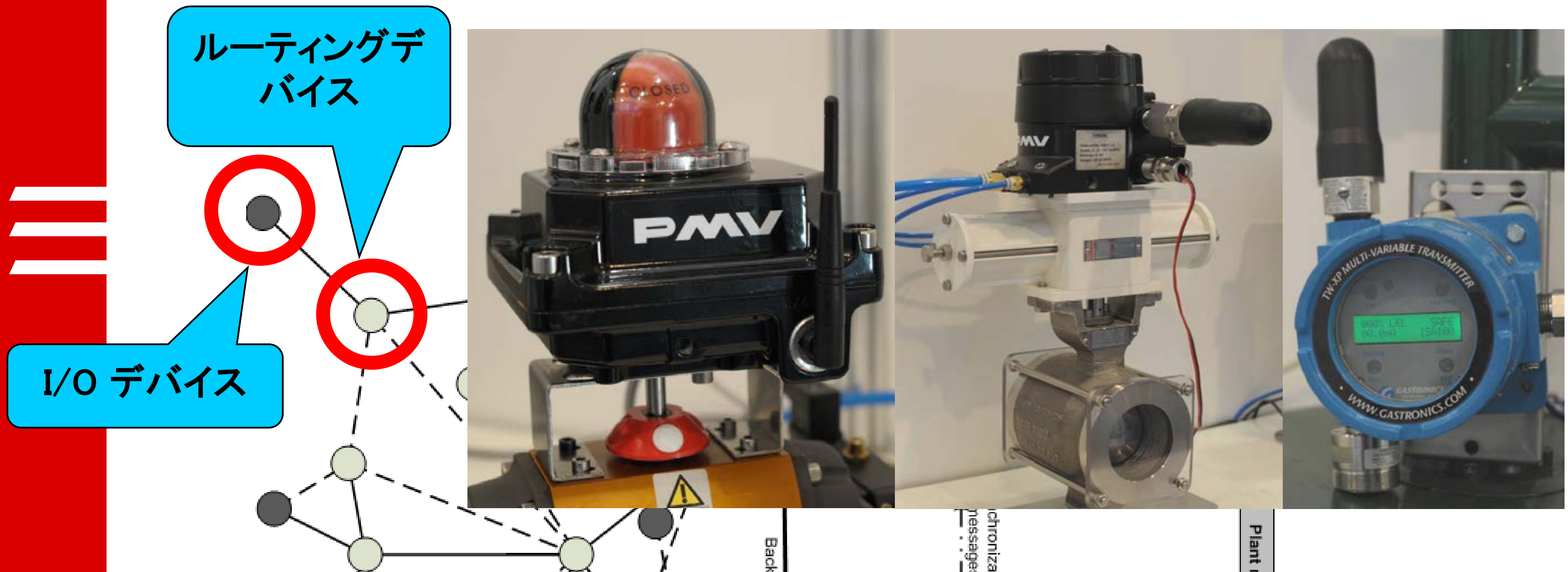
フィールドデバイス :現場に設置されるセンサ、アクチュエータなど。
ルーティングデバイスは、ネットワークトポロジー上で隣接する機器のデータを中継でき、データ送信経路を選択します。ルーティング機能のないI/O デバイスは、中継のための無線通信がなくなるため、低消費電力で電池寿命が長くなります。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素



フィールドデバイス :現場に設置されるセンサ、アクチュエータなど。
ルーティングデバイスは、ネットワークトポロジー上で隣接する機器の
データを中継でき、データ送信経路を選択します。ルーティング機能のない
I/O デバイスは、中継のための無線通信がなくなるため、低消費電力で
電池寿命が長くなります。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素

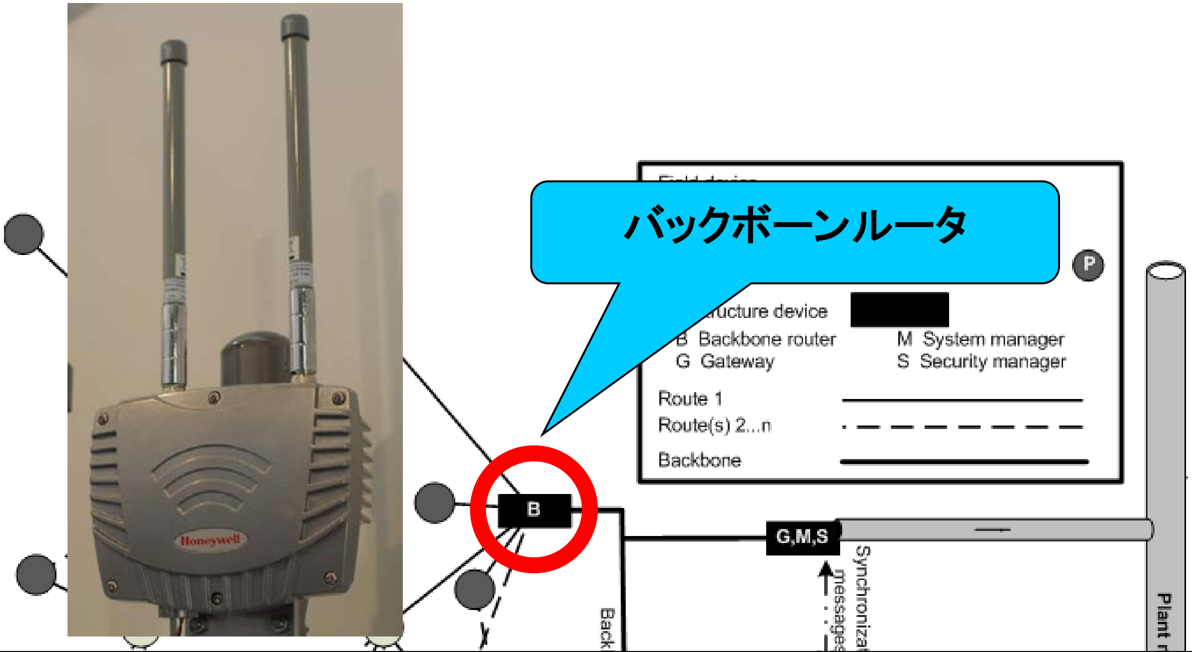


フィールドデバイス :現場に設置されるセンサ、アクチュエータなど。
ルーティングデバイスは、ネットワークトポロジー上で隣接する機器のデータを中継でき、データ送信経路を選択します。ルーティング機能のないI/O デバイスは、中継のための無線通信がなくなるため、低消費電力で電池寿命が長くなります。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素

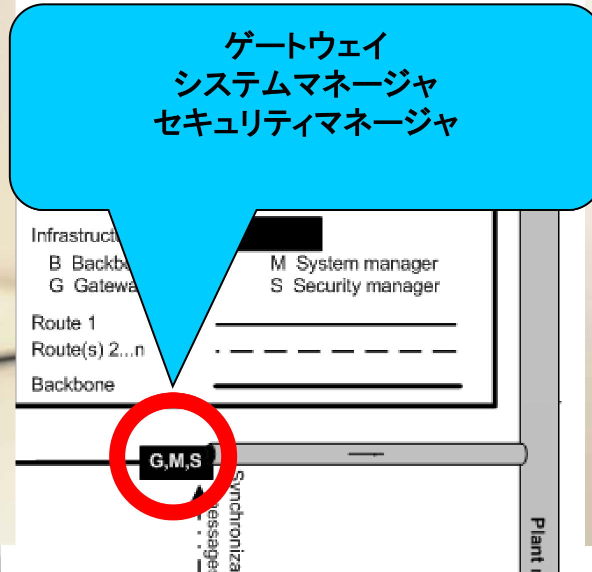
フィールドデバイス :現場に設置されるセンサ、アクチュエータなど。
ルーティングデバイスは、ネットワークトポロジー上で隣接する機器のデータを中継でき、データ送信経路を選択します。ルーティング機能のないI/O デバイスは、中継のための無線通信がなくなるため、低消費電力で電池寿命が長くなります。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素



バックボーンルータ:
ISA100.11aの無線ネットワーク信号とバックボーンネットワーク の信号を
相互に変換します。
バックボーンルータはISA100.11aのサブネットワーク拡張を可能にし、
ISA100.11a規格の高いスケーラビリティを実現します。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素



ゲートウェイ： バックボーンネットワークの信号とプラントのアプリケーションの信号を相互に変換します。
システムマネージャ： ISA100.11aのネットワークを管理します。
セキュリティマネージャ： 暗号鍵を発行・管理し、ネットワークのセキュリティを確保します。

ISA100.11aのアーキテクチャと構成要素

プロビジョニングデバイス：
暗号鍵とネットワークIDをフィールドデバイスに設定します。
ホストシステム：
フィールドデバイスの監視・制御を行います。

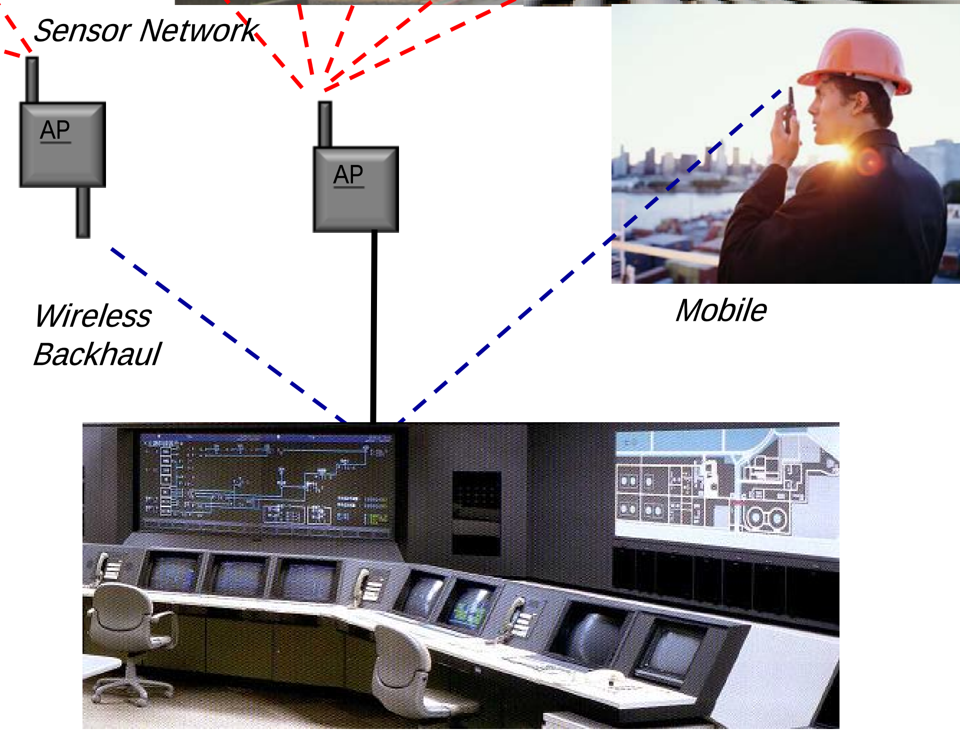
ISA100 WCI 相互運用性認証登録製品例

ISA100 Wireless COMPLIANT

	Devices tested						GW/SM/SecM/BBRted			
Vendor	Honeywell			YOKOGAWA		NIVIS	YOKOGAWA	Honeywell		NIVIS
Device name	Pressure	HLAI	Temperature	YTA510	EJX	VS210	YFGW710	BBR	GW/SM/SecM	VR900
Pictures										
RadioFW rev	RAP200.1-66.90	RAP200.1-66.91	RAP200.1-66.90	YK_04.02.09	YK_04.02.09		BB_04.02.09			
Application FW rev	Pressure version 230	HLAI version 230	Temperature DI version 230	03.09.01 R1.01.02	w32e R1.01.04		R2.5.7			

Softwares tested							
PC Name	D520 (Host PC)					Provisioning Device	
						YOKOGAWA	Honeywell
Pictures							
Software Name	Field Wireless Configurator	Field Wireless Management Tool	OPC Server for ISA100	OPC Client	Modbus Client	Field Mate	
Software rev	R1.01.00	R1.01.00	R1.01	(Test tool)	(Test tool)	R2.03 T12	

期待されるアプリケーション例



石油アップストリーム

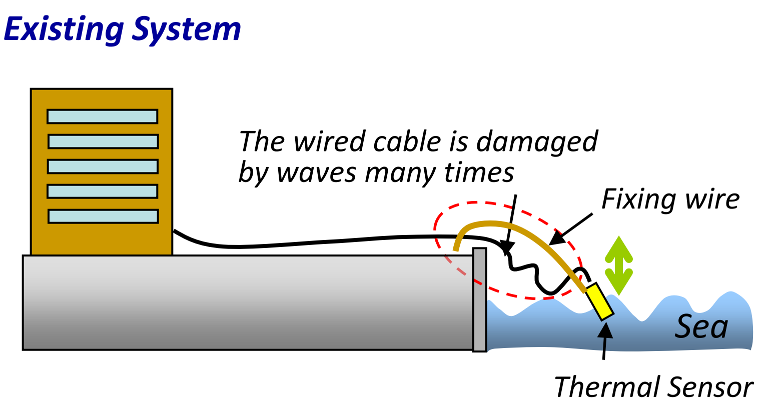
- 井戸元監視
- パイプライン圧力・流量
- バルブモニタリング
- ポンプステーション遠隔監視

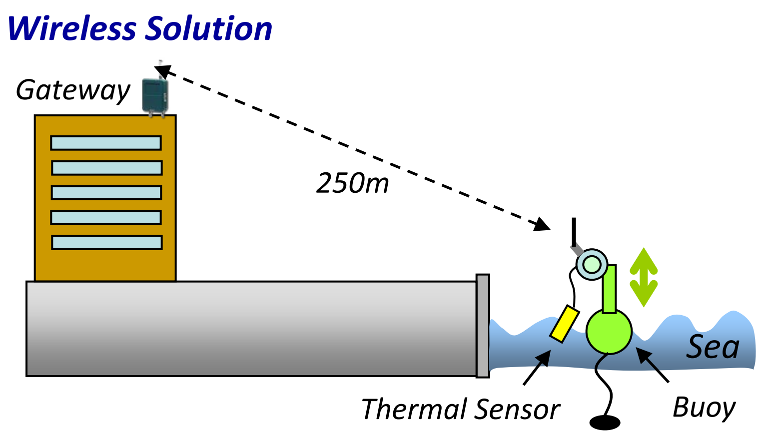
石油ダウンストリーム

- タンクレベル　モニタリング
- 温度プロファイル　モニタリング
- 機器の状態監視
- プラントセキュリティ、侵入監視
- ガス漏洩検知

導入事例1
海水面の温度監視

- これまでの問題点
  - 有線の温度センサによる測定では、波によりケーブルが岸壁と擦れて損傷し、交換頻度が高かった。
- 解決手法
  - 無線センサを海上のブイに設置し、無線による岸壁との干渉がない状態で温度測定を実現
- 無線機器導入による効果
  - ケーブル保守・交換費用の削減
  - 低コストでの環境監視の強化

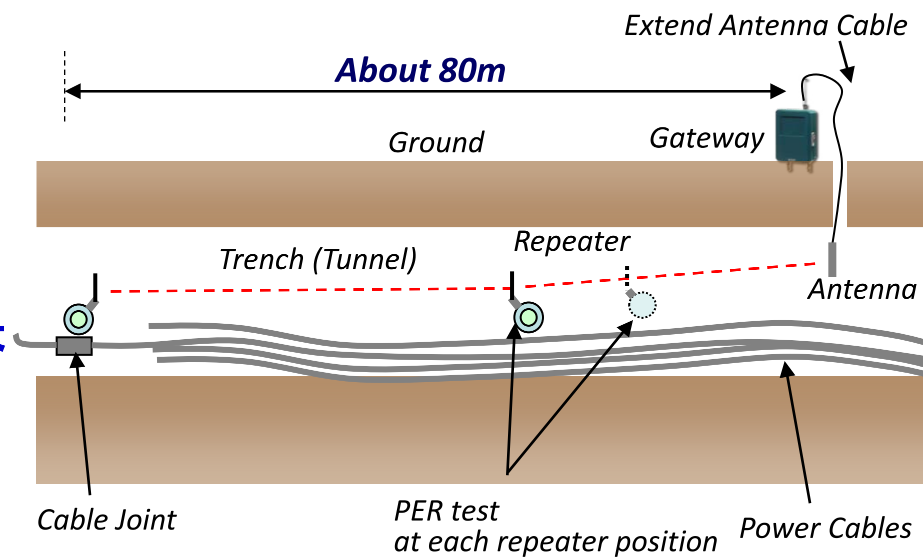




導入事例2
地下埋設高電圧ケーブル接続部の温度監視

- **これまでの問題点**
  - 大電力を扱う高電圧ケーブルは電気的ノイズが非常に大きい
  - 地下埋設のため、有線機器の設置コストが高い
  - 安全上の課題を抱えつつも、ケーブル接続部の温度監視ができていなかった。

- **解決手法**
  - 高電圧ケーブル埋設用のトンネル内に温度センサを設置し、トンネル内で無線通信を実施



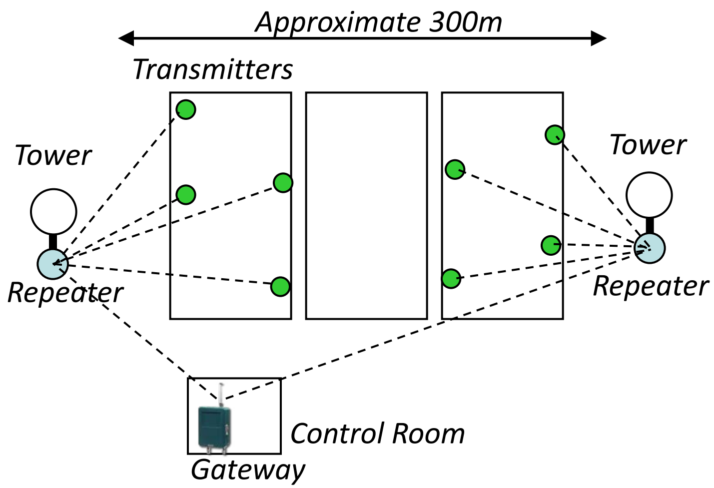
- **無線機器導入による効果**
  - 低コストでの高電圧ケーブル接続部の温度監視を実現
  - 安全性の向上に寄与

導入事例3
プラント内圧力・温度ゲージのリプレース

- **これまでの問題点**
  - 圧力・温度ゲージでの監視のため、プロセス値を伝送する手段がなく巡回監視が必要となり、人件費や危険場所での労働安全の確保が問題となっていた。

- **解決手法**
  - 無線センサを設置し制御室から直接プロセス値を監視。

- **無線機器導入による効果**
  - ワイヤリングコストをかけることなく、プロセス値の伝送を実現。
  - 監視精度の向上
  - 現場巡回作業者の安全性向上

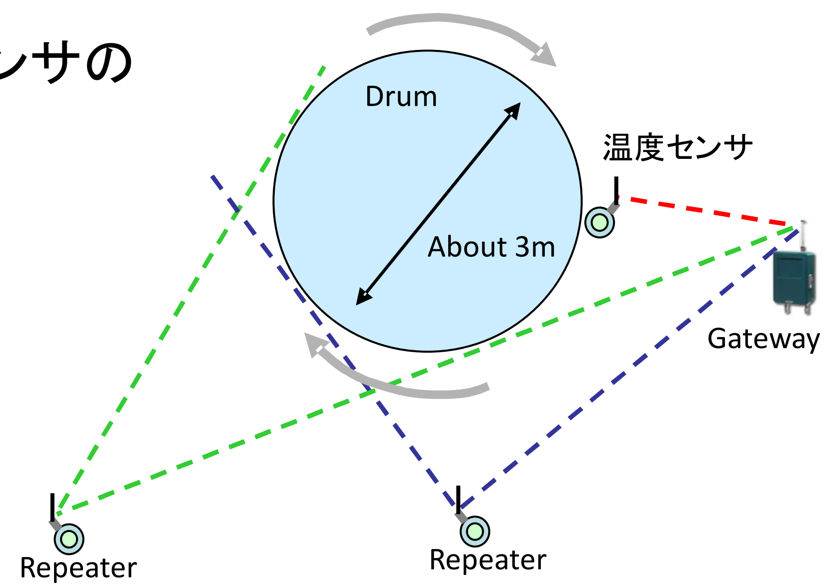


導入事例4
回転体の温度監視

- **これまでの問題点**
  - 回転体のため、有線センサでの測定が不可能
  - 温度ゲージでの測定のため、プロセス値の伝送が不可能

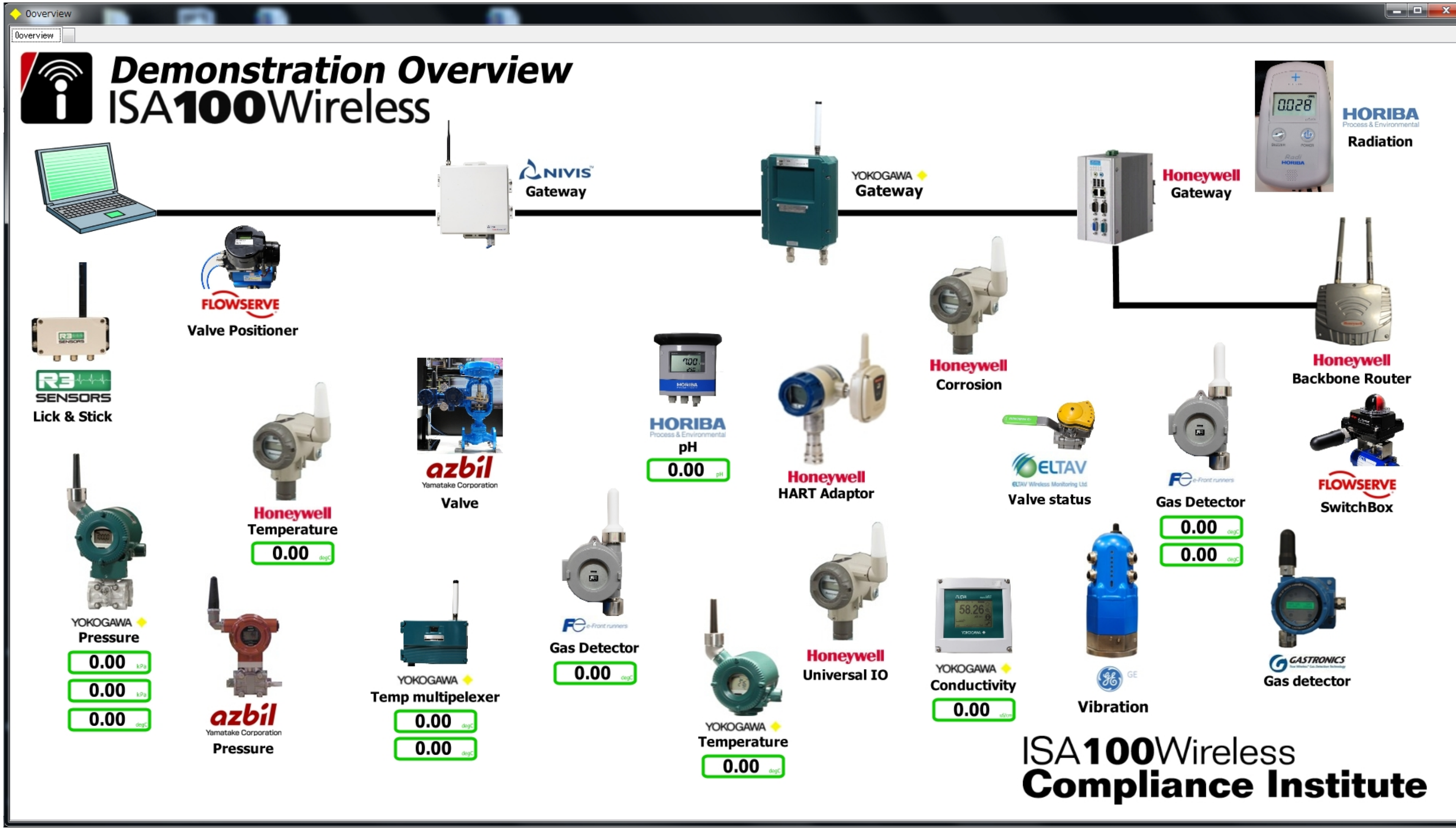
- **解決手法**
  - 回転体の温度監視を無線センサで行い、プロセス値の伝送を実現。
  - リピーターの設置により、温度センサの位置を問わず監視を実現

- **無線機器導入による効果**
  - これまで有線機器では測定できなかった回転体での測定が可能となった。
  - 監視精度の向上に寄与



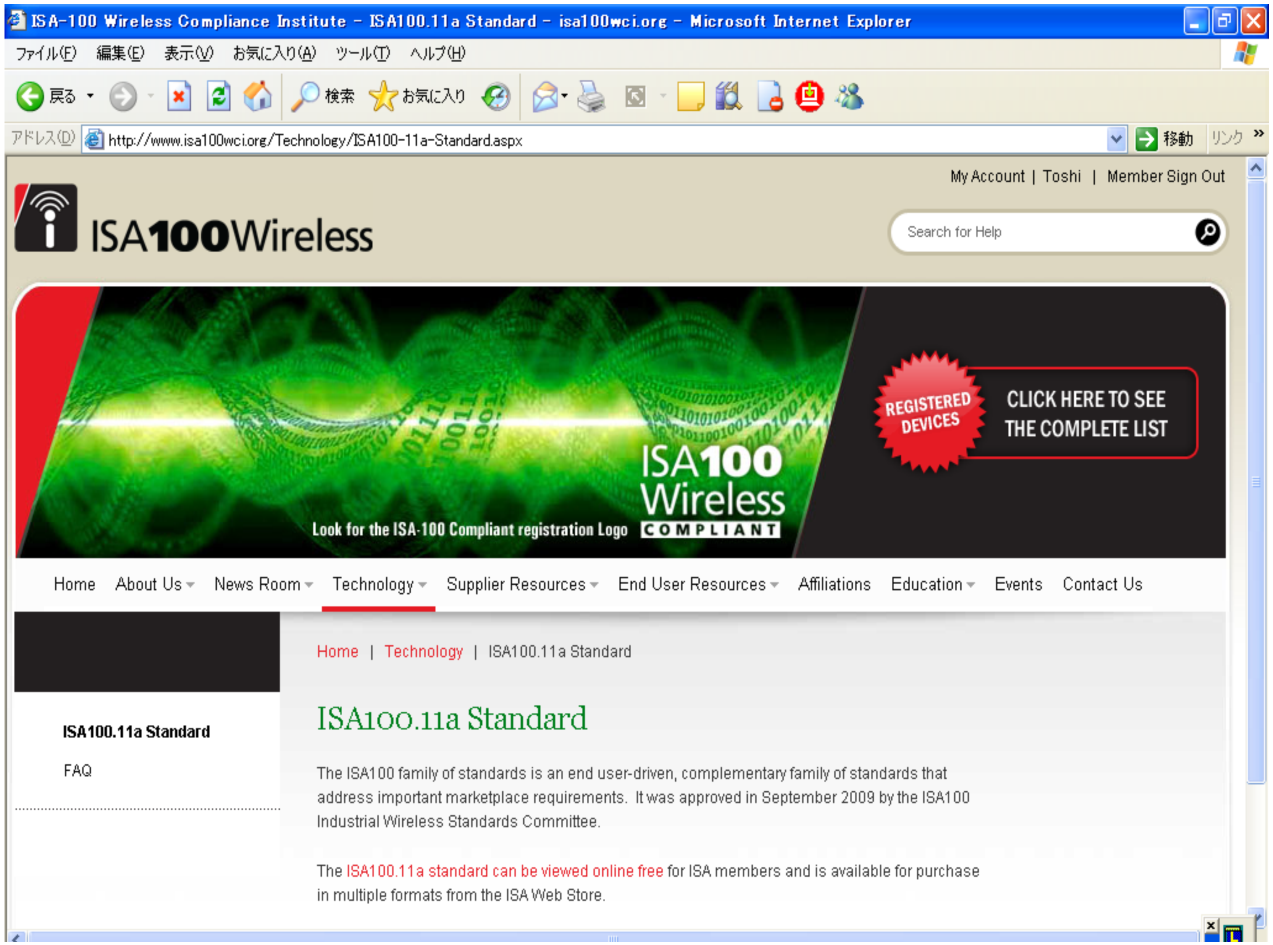
計測展2011　TOKYO

計測展2011　TOKYO



計測展2012 OSAKA

http://www.isa100wci.org



ご清聴ありがとうございました。

ISA100.11a – A framework for innovation