

次世代プラントワイドフィールド無線システム

New Plant-wide Field Wireless System

吉田 良夫 *1	深澤 正行 *1	藤本 直之 *1
Yoshio Yoshida	Masayuki Fukasawa	Naoyuki Fujimoto
遠藤 正仁 *1	胡 荣才 *2	李 浩 *2
Masahito Endo	Rongcai Hu	Hao Li

インダストリアルオートメーション用無線通信規格 ISA100.11a に準拠した大規模・高信頼な次世代プラントワイドフィールド無線システムとして、無線ネットワーク管理機能、ゲートウェイ機能とアクセスポイント機能を分離したフレキシブルなシステム構築が可能な新しいフィールド無線システム機器を開発した。フィールド無線システムでは世界最大規模となる 500 台までの無線フィールド機器の一括管理機能と、世界初のフィールド無線システム全体の完全冗長化を同時に実現した。本稿では、これらの製品概要と新規開発した技術について紹介する。

Yokogawa developed a large-scale, reliable, next-generation, plant-wide field wireless system that conforms to the ISA100.11a wireless communication standard for industrial automation. By separating the access point function from system manager and gateway functions, this system has achieved a more flexible system configuration. It can control up to 500 field wireless devices and achieves the world's first full system-wide redundancy as well as high reliability. This paper introduces the products that comprise the system and their technologies.

1. はじめに

プラント現場への無線技術の導入は、ケーブル配線コスト低減などのメリットに加えて、フィールドデジタルソリューションを実現する 1 つの手段として、プラントの安全・安定操業、運転効率改善などへの貢献が期待されている。

このような期待に応えるため、当社は世界に先駆けて ISA100.11a 準拠の無線フィールド機器⁽¹⁾を発売し、世界中の幅広い分野で納入実績を積み重ねてきた。これらの実績と経験から、プラントの生産効率を向上させるには、断片的な無線フィールド機器の導入でなく、プラント全体に対応できる大規模フィールド無線システムが望まれることが分かった。

この要求に応えるべく、次の 3 つのコンセプトを軸としたフィールド無線システム製品を開発した。

- Reliability: 大規模フィールド無線システムでは、無線信号の干渉を回避できる高い信頼性が要求される。このため、高性能無線技術と冗長化技術を統合して制御

用途への対応も可能な高信頼性を実現する。

- Flexibility: 広大なプラント内の各所に自由度の高い設置と拡張ができる柔軟なアーキテクチャとする。
- Openness: オープンな ISA100.11a に準拠することで、他社製品を含めた幅広い分野の無線フィールド機器との相互接続を可能にする。

本稿では、新たに開発したフィールド無線システムの構成および製品の概要と、技術的特長について紹介する。

2. フィールド無線システムの構成

ホストシステムからフィールド無線ネットワークまで完全冗長化した大規模フィールド無線システムの構成例を図 1 に示す。

同期ケーブルで接続された 2 台のフィールド無線用管理ステーション YFGW410 を 1 組として配置することで、ホストシステムとフィールド無線用アクセスポイント YFGW510 に対して無線ネットワーク管理機能とゲートウェイ機能の冗長化を提供する。各無線サブネットには、複数のフィールド無線アクセスポイント YFGW510 を配置することによって、無線フィールド機器に対して、フィールド無線ネットワークの冗長性を提供する。1 組の YFGW410 には、最大 20 サブネット・最大 500 台の無線フィールド機器の接続が可能である。既に YFGW410

*1 IA-MK 本部 事業企画部

*2 横河電機（中国）有限公司 開発本部

が動作している環境においては、YFGW510をフィールド無線バックボーンネットワークに追加接続することによって、フィールド無線システムを停止することなく無線サブネットの追加が可能である。これにより、環境の変化に合わせて順次システムを拡張することができる。

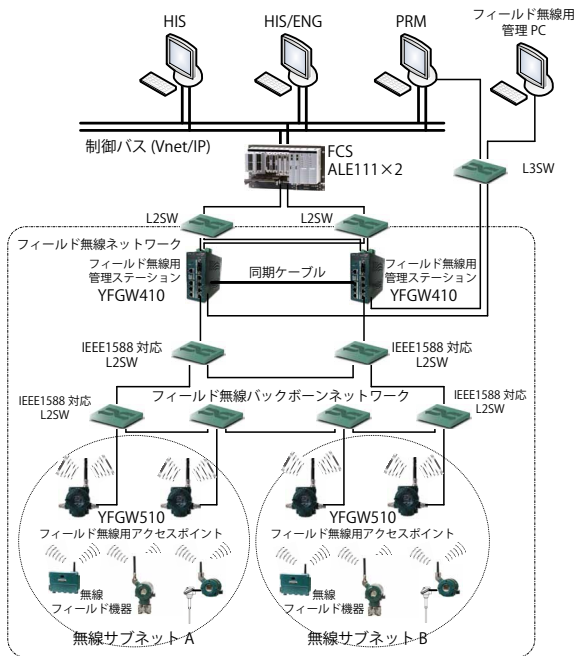


図 1 フィールド無線システムの構成例

3. フィールド無線システム機器の概要

フィールド無線システムの構成要素として新たに開発したフィールド無線システム機器の外観を図 2 に示す。



図 2 新たに開発したフィールド無線システム機器

3.1 フィールド無線用管理ステーション YFGW410

YFGW410 は ISA100.11a に準拠した無線ネットワーク管理機能 (システムマネージャー, セキュリティマネージャー) とゲートウェイ機能を搭載し, 以下のような特長をもつ。

■ 豊富な外部通信ポート

YFGW410 は外部通信ポートとして, 100BASE-TX を

8ポート (上位側 3ポート, 下位側 4ポート, 保守用 1ポート), RS485 と RS232C を 1ポートずつ搭載する。また他のシステムと接続する通信ポートにはサージ保護回路を内蔵することによって, 外部ネットワーク機器やサージ保護機器の追加なしで, 多様なネットワーク環境への設置を可能にした。

■ 高性能・耐環境性能

無線フィールド機器を 500 台まで管理し, 豊富な外部通信ポートを搭載するために, 当社の従来無線システム機器に比べて大幅に演算性能を強化したマイクロプロセッサと多ポートレイヤ 2 スイッチデバイスを採用した。こうした高性能デバイスを使用する場合に問題となる消費電力・発熱は, 最適なボード・電源設計, 冷却能力にすぐれたヒートシンクの独自開発, また構成する部品の厳選により解決し, -40℃から 65℃までの広温度範囲動作を可能にした。

■ 冗長化機能

2 台の YFGW410 間を専用の同期ケーブルで接続するだけで, 個々の YFGW410 が冗長化構成を自動認識して設定を自動化できるようにした。これにより, 設置工事および修理交換時の誤配線, 誤設定を防止することができる。同期データを転送する信号線は二重化されており, 一箇所が断線しても, フィールド無線システムが停止することなく, 動作を継続できる。

3.2 フィールド無線用アクセスポイント YFGW510

YFGW510 は ISA100.11a に準拠したバックボーンルータ機能を搭載する。大規模なフィールド無線システムでは, 1 台の YFGW510 で, より多くの無線フィールド機器を接続することが必要となる。さらに複数の YFGW510 を, 防爆場所を含むプラントの各所に, 多様なバックボーン通信インタフェースを通じて配置することが求められる。これらの要求に対して, YFGW510 は以下のような特長をもつ。

■ 高性能, 小型耐圧防爆構造

ISA100.11a 準拠の無線チップおよび RF フロントエンド回路と, 低消費電力で演算性能の高い 32 ビットシングルチップマイクロプロセッサを 1 枚の基板に実装して, 新開発の小型耐圧防爆型容器内に収納した。これにより 1 台の YFGW510 で無線フィールド機器を 100 台まで接続可能にし, さらに, ゾーン 1⁽²⁾ の危険場所にも設置可能とした。

■ 多様なバックボーン通信インタフェース

YFGW510 は, バックボーン通信インタフェース毎にボードをアドオンできる構成にした。これにより 100BASE-TX および 100BASE-FX のほか IEEE802.11a/b/g (無線 LAN) のオプションを提供でき, YFGW410 と YFGW510 間の配線が難しい設置環境にも対応可能とした。さらに今後は, 既設の計装ケーブルを利用した通信

にも対応予定である。

■ 無線 LAN の冗長化

YFGW510 に、小型高性能低消費電力無線 LAN モジュールを 2 個搭載し、通信品質の監視と自動切り替えによって冗長化を可能にし、無線 LAN バックボーンの高信頼化を実現した。

3.3 フィールド無線用メディアコンバータ YFGW610

YFGW610 は、YFGW410 と YFGW510 の間のバックボーン通信インタフェースの変換を行う。YFGW610 は、YFGW410 と YFGW510 の間に設置し、YFGW410 の下位ポート接続 (100BASE-TX) から光インタフェース接続 (100BASE-FX) に変換する 4 ポート のメディアコンバータで、高精度時刻同期に対応できる低レイテンシ (50 μs) と広温度範囲動作 (-40 ~ 65 °C) の特長をもつ。

4. フィールド無線用管理ステーションの冗長化

図 3 に YFGW410 を冗長化した場合の構成と動作を示す。

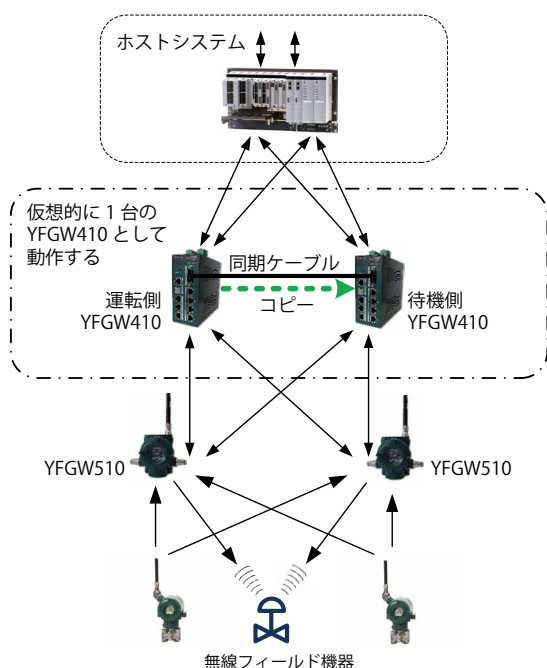


図 3 YFGW410 の冗長化

YFGW410 の冗長化は待機冗長化方式を採用し、運転側の YFGW410 が故障すると、即座に待機側の YFGW410 に切り替わり、処理を継続する。冗長化動作では、2 台の YFGW410 が仮想的な 1 台の YFGW410 として動作する。ホストシステムは、2 台の YFGW410 に付与された 1 つの仮想的な IP アドレスを用いて通信を行う。このため、切り替えが発生した場合でもどちらのハードウェアに動作が移行したかに影響されることなく処理を継続できる。無線フィールド機器の接続や、設定のダウンロードも同様に仮想化された 1 つの IP アドレスを

通して、常に運転側の YFGW410 が処理を行う。運転側の YFGW410 の設定が変更されると、同期ケーブルを通じて直ちに待機側 YFGW410 に同じ設定がコピーされるため、大規模構成時においても異常検知後 1 秒以内で切換えが可能である。

故障した YFGW410 の交換は、代替のハードウェアに対して特別な設定を行うことなく、また、稼働中のシステムを停止することなく実施できる。交換により新しく設置した YFGW410 は起動時に自動的に設定情報を運転側から取得し、待機側として動作を開始する。

5. 無線経路の冗長化

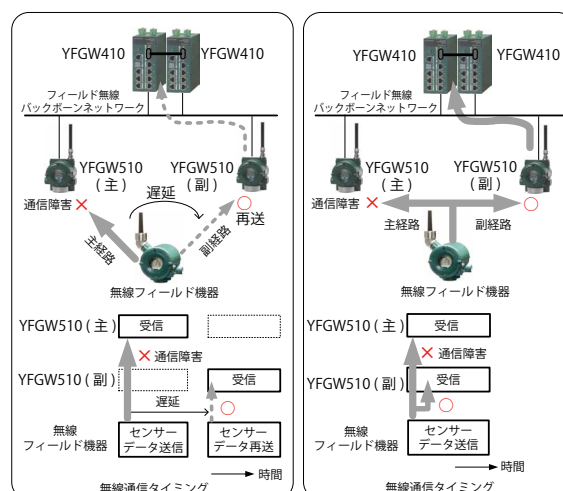
従来のフィールド無線システムに対する無線経路冗長化の改良点を述べる。

■ 設定時間短縮と安定性向上

従来の自動経路設定は、見通しが確保できる場所や無線フィールド機器を頻繁に移設する場合には効果的だが、自律的な経路探索を行うため、設定完了までに時間がかかり、設定に失敗すると、機器の設置条件をどのように変更したらよいか判断しづらい。本システムは、自動経路設定のほかに、ユーザーが個別に無線経路を指定できる固定経路設定を利用可能とした。固定経路設定は、直ちに経路設定の結果が分かるので現場の作業工数を削減できる。また、固定経路設定は、車輛等移動性の障害物が通過する場所のように通信障害の原因となる経路をあらかじめ回避させることができるため、高信頼で安定した経路冗長化を提供できる。

■ 制御への対応

デュオキャストは、無線フィールド機器が送信するセンサーデータを主・副 2 台の YFGW510 が同時に受信して YFGW410 に転送する通信方式である。図 4 に従来方式 (ユニキャスト) との比較を示す。



ユニキャスト方式 (従来方式) デュオキャスト方式

図 4 デュオキャストの効果

主側の YFGW510 に対する無線経路に障害が発生すると、YFGW410 は、副側の YFGW510 経由で受信したセンサーデータをホストシステムに転送する。デュオキャストは、再送をせずに通信経路を冗長化するため、片方の無線経路に障害が発生してもセンサーデータの欠落や遅延時間の増加が発生しない。デュオキャストは、通信障害を再送でカバーする従来方式と比較して 1/2 の通信時間で同等の信頼性を実現する。

制御データについては、ユニキャストで主・副 2 系統の YFGW510 から無線フィールド機器に向けて常時交互に送信することにより通信経路を冗長化する。

6. フィールド無線バックボーンネットワーク

YFGW410 と YFGW510 を接続するフィールド無線バックボーンネットワークは、ISA100.11a 準拠の高信頼・大規模・分散型フィールド無線システムを実現するために以下の特長を有する。

6.1 高精度時刻同期

ISA100.11a 準拠のフィールド無線ネットワークは、接続する全ての機器が 1 ms 以内の精度で通信タイミングを同期させる時分割多重型の通信を行う。これにより、多数の無線フィールド機器を相互の無線到達範囲内に配置しても、無線信号の衝突によるデータ損失や再送による遅延時間の増大を起さずに、安定した通信が可能となる。

ISA100.11a 準拠のフィールド無線ネットワークを大規模化するに当たって、分散配置されたサブネット間の電波干渉を回避し、複数の YFGW510 による無線経路冗長化を実現するため、以下の時刻同期技術を導入した。

- バックボーンネットワーク上の時刻同期に IEEE1588 高精度時間プロトコル (Precision Time Protocol) を採用し、大規模構成時に必要となる LAN スイッチに、通信遅延時間の補正機能を有する市販の製品を利用可能とした。また、YFGW410 と YFGW510 に、IEEE1588 準拠の時刻同期パケットに対応するハードウェアを実装することでソフトウェア処理の負荷に影響されない高精度な時刻同期を可能にした。
- 本システム全体の時刻同期マスタは YFGW410 に内蔵される。YFGW410 の冗長化動作では、時刻同期マスタも冗長化される。運転側として動作する YFGW410 の時刻同期マスタは、定期的に時刻同期パケットをバックボーンネットワークと待機側の YFGW410 に送信する。待機側 YFGW410 の時刻は運転側の時刻同期マスタに同期しており、運転側の YFGW410 に故障が発生すると、待機側の YFGW410 は自身の時刻を新たな時刻同期マスタに切替えて動作させることで、YFGW510 の時刻同期を維持する。

6.2 ISA100.11a バックボーン通信

バックボーンネットワークを経由する無線フィールド機器と YFGW410 間の通信は、ISA100.11a 準拠の強固なトランスポート層暗号化により保護される。このためバックボーン通信インタフェースの種類によらず、エンド・ツー・エンドの通信セキュリティが確保される。さらに今回開発した次世代プラントワイドフィールド無線システムの ISA100.11a バックボーン通信は以下の特長を有する。

- YFGW510 の IP アドレス等の初期化パラメータを起動時に YFGW410 から自動配布することで、YFGW510 の設置、交換を簡単にできるようにした。
- 最大 500 台の無線フィールド機器の通信が集中する YFGW410 のプロトコルスタックについては、実装の工夫により処理時間を短縮した。さらに無線ネットワーク管理機能が処理するパケットとゲートウェイ機能が処理するパケットの通信バッファを分けて管理する構成をとった。各々の通信バッファには異なる優先付けをした上で処理を並列化した。これにより新たにネットワークに接続する無線フィールド機器の認証処理と通信中の定常的なセンサーデータの転送処理が、互いに影響することなく安定して行われるようにした。
- 無線フィールド機器からのデータをマルチキャスト IP パケットで運転側と待機側の両方の YFGW410 に同時に送信することで、待機側 YFGW410 が運転側へ切り替わる時に、データ欠落なしで 1 秒以内の高速切り替えを実現した。

7. おわりに

YFGW410/510/610 を中心とした新しいフィールド無線システムによって、フィールド無線は単なる監視用途から制御を見据えた新たなステージに移行する。

今後は、既設計装ケーブルを利用したバックボーンネットワーク設置のさらなる容易化を実現するとともに、無線 LAN アプリケーションも取り込んだ無線技術の融合と、有線・無線を統合したフィールドデジタルソリューションの実現に取り組む予定である。

参考文献

- (1) 山本周二, 前田直樹, 他, "世界初 ISA100.11a 準拠 無線フィールド機器", 横河技報, Vol. 53, No. 2, 2010, p. 13-16
- (2) IEC 60079-10-1 ed1.0 (2008-12), "Explosive atmospheres - Part 10-1.2: Classification of areas - Explosive gas atmospheres"; IEC 60079-10-2 ed1.0 (2009-04), "Explosive atmospheres - Part 10-2: Classification of areas - Combustible dust atmospheres"

* YFGW は横河電機 (株) の登録商標です。