

# ISA100.11a 無線フィールド機器の配置設計方法

An Excellent Method to Lay Out ISA100.11a Field Wireless Devices.

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| 高井 潔 *1       | 相川 清隆 *1        |
| Kiyoshi Takai | Kiyotaka Aikawa |
| 萩本 麻衣 *1      | 渡部 晃司 *1        |
| Mai Hagimoto  | Kouji Watanabe  |

プラント現場の中に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 準拠の無線フィールド機器を設置する場合、当社が提案するスカイメッシュ方式で配置設計をすることで、非常に良好な無線通信品質を確保できることがわかった。本稿ではスカイメッシュ方式の配置の考え方を解説し、実際にプラント現場に配置した結果を述べる。

We have identified an excellent method to lay out ISA100.11a field wireless devices, which is applicable to any field. With this method, optimal wireless communication can be achieved. We call this simple method, the “Sky Mesh” method. This paper explains how to arrange wireless devices in accordance with the Sky Mesh method and describes the result of an actual installation in a plant.

## 1. はじめに <sup>(1)</sup>

プラント現場にはタンクヤードのように見通しがきく場所や、オンサイトに代表される周辺が金属配管や装置に囲まれている見通しがきかない場所（以下、パイプジャングルという）など様々な場所が存在する。現在使用されているフィールド無線の電波の周波数は 2.4 GHz 帯である。2.4 GHz 帯の電波は直進性が強く、電波の回り込みの効果はほとんど期待できない。このため、見通しが良ければ 500 m 以上の長距離通信は行えるが、無線通信経路上に障害物があると通信品質が悪化して長距離通信ができないことになる。プラント現場でもっとも問題となる障害物は、見通しがほとんど効かないパイプジャングルである。しかしこのような場所では多くの伝送器やゲージが設置されており、フィールド無線を導入するにあたり、最も重要な場所となっている。

当社では“Reliable Radio”（高信頼無線）の技術コンセプトにもとづき ISA100.11a に適合した信頼性の高い無線製品を提供することによりこれらの問題を解決してきた。

今回、更なるフィールド無線の高信頼性への要求に応

えるため、プラントの上空で無線インフラに相当する中継器群の強固な通信経路を確保し、中継器よりパイプジャングル内に設置された無線伝送器と通信を行う（以下スカイメッシュ方式という）設計方法を提案する。当社ではこの方式を取り入れることで、多くのプラント現場で安定したフィールド無線ネットワークの構成ができた。このスカイメッシュ方式を実現するために重要になるのは、中継器群の通信経路を固定できることである。当社の無線フィールド機器は自動メッシュ機能を持つとともに経路を固定することもできるため、スカイメッシュ方式を有効に活用できる。

本稿では、電波伝搬の特性および無線通信の評価指標について論じた後、プラント現場での最適な配置の設計方式であるスカイメッシュ方式を提案し、実際に現場に設置した結果を述べ、この有効性を示す。

## 2. 2.4 GHz 帯の電波伝搬特性

フィールドに無線伝送器を設置するためには、電波伝搬の特性を知っておくことは重要である。ここでは、2.4 GHz 帯の無線伝播特性<sup>(2)</sup>のうち、最も重要である項目についてまとめる。フィールド無線機器を現場に設置する場合には、以下の 3 項目は特に留意する必要がある。

\*1 IA-MK 本部事業企画部

### 2.1 電波伝搬による減衰率

自由空間伝搬とは、送信点や端末の周囲に障害物や反射物が存在しない環境における電波伝搬であり、厳密には宇宙空間や電波暗室など、直接波以外に到来する波が存在しない場合の伝搬を指す。

自由空間伝搬損失は、式 (1) によって表され、送受信点間距離の 2 乗に比例して増加する。他の複雑な環境における伝搬損失を考える上での基本とする。

$$L_{fs} = -(20\log_{10} f + 20\log_{10} d + 20\log_{10} \left(\frac{4\pi}{C}\right) + 120) \dots (1)$$

- $L_{fs}$  : 自由空間伝播損失 [dB]
- $f$  : 周波数 [MHz]
- $d$  : 送受信点間距離 [m]
- $C$  : 光速 [m/s]

式 (1) を ISA100.11a 規格で使用している周波数：2400 MHz (2.4 GHz) としてグラフで表すと以下となる。

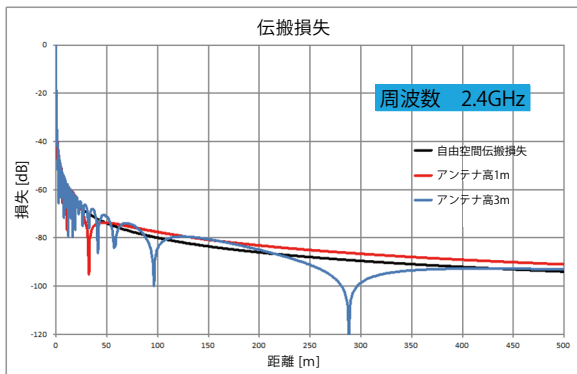


図 1 自由空間伝搬損失と地面の影響

出力が 10 mW (10 dBm) , 送受信器のアンテナゲインが送信側, 受信側両方とも +2 dBi , 通信距離が 500 m の時, 以下の式がなりたつ。

$$\text{受信レベル} = 10 \text{ dBm} + 2 \text{ dBi} - 94 \text{ dB} + 2 \text{ dBi} = -80 \text{ dBm}$$

通常の ISA100.11a 規格で使用されている受信感度は -90 dBm 以下であるので、復調するには十分な受信強度であると言える。

しかし、実環境ではアンテナは有限な高さに設置されるので地面の影響を必ず受ける。同じアンテナから出た電波は、アンテナ同士を結ぶ直接波と、地面からの反射波が存在し、この 2 波が重なることで干渉が起きる。図 1 にはアンテナの地上高が 1 m と 3 m の時の通信距離と伝搬損失の関係を示してある。通信距離が長ければアンテナ高さを低くすることで、地上からの干渉の影響は軽減できるが、次項に述べるフレネルゾーンの影響があり、通信品質が悪化する。

### 2.2 フレネルゾーン

実環境では、自由空間伝搬損失がそのまま当てはまらない。これは見通しが取れている場所でも、地面や周囲の構造物が必ず存在するからである。

無線通信ではアンテナ間の中心線の周囲に障害物が無ければ、ほぼ自由空間伝搬損失が当てはまる。この空間は図 2 に示すようにアンテナ間の最短距離を中心とした回転楕円体で、フレネルゾーンと呼ばれている。フレネルゾーンに障害物が入ると伝搬損失が高くなり、無線の通信品質が悪化する。

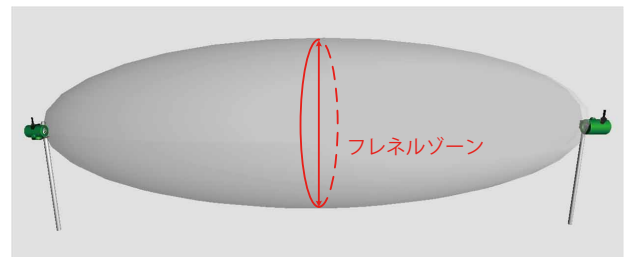


図 2 フレネルゾーン

### 2.3 回折, 反射

実環境では図 3 に示すように、更に建物や構造物があり、反射波や回折がおこる。2.4 GHz 帯の無線では周波数が高く、電波の波長が 12 cm 程度であるため、数 m から数十 m のサイズのパイプジャングルでは回折の効果はあまり期待できない。

金属の表面は電波を反射する。プラントの構造物は金属製が多く、反射の影響が大きい。このため、通信経路上に障害物があり直接見通しが無い場合の通信でも、通信が可能であることが多い。当社の経験上、パイプジャングルの中で見通しが取れない場合でも、50 m の範囲であれば反射の影響で良い通信品質が得られることを見出した。

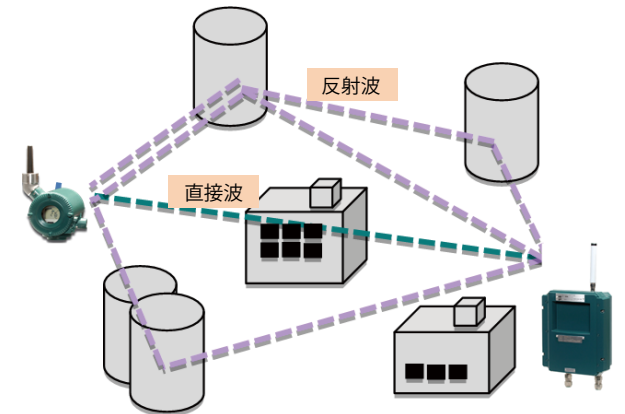


図 3 電波の反射

### 3. 無線通信の評価指標

無線機器の性能評価で一般的な指標として BER (Bit Error Rate) が使われることが多い。BER の測定は、送信側と受信側でどの Bit 符号を送受信するかの取り決めを行って無線通信を行い、どの Bit が落ちたかで評価を行うため、機器には専用のプログラムを作りこみ、解析にはそれなりの処理を伴う。このため、BER の測定には専用機器を用意することが多い。

これに対して PER (Packet Error Rate) の測定は、送信したパケット全体で評価を行う。送信したパケット（データ）が受信側に正しく到達しなかった割合で評価する指標である。通常データの送受信で評価を行えるため、実環境での無線通信の評価に向いていると言える。

このほかに機器が受信した電波強度（RSSI）で無線通信品質の推定を行うことがある。2.1 項で述べたように、理想的な区間、あるいは障害物の影響が少ない環境では、RSSI の値から PER が推定でき、簡単に評価を行うことができる。しかし、図 4 に示すように、実環境、特にパイプジャングルのような環境では、RSSI と PER に相関があるとは言えない。

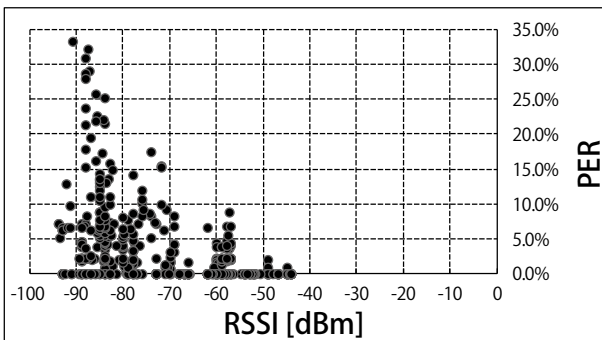


図 4 実際の RSSI と PER の関係

プラント現場で無線評価を確実にできるのは PER である。フィールド無線システム全体の設計でも PER がわかれば、求められる信頼性より必要なリトライ回数を決めることができる。つまり、リトライ回数と経路の情報より、システムとしての信頼性、無線伝送器がパケットを送信してから上位システムが受け取るまでの遅れ時間、更にそれぞれの無線伝送器の電池寿命の予測も可能となる。

以上より、当社が無線通信評価に使っている指標は PER で統一している。ただし、以上の計算は、無線通信経路が予想可能な場合のみ適用できる。

### 4. スカイメッシュ方式による設計方法

実際に無線フィールド機器をプラント現場に設置する場合、最も配置設計が難しい場所は、パイプや装置が複

雑に配置されているオンサイトに代表されるパイプジャングルの中である。

通常、無線アクセスポイントはコントロール室などの屋上に設置される場合が多い。無線フィールド機器が設置される測定点はパイプジャングルの中にあり、見通しが取れないばかりではなく、周囲からの反射波も多く存在する。無線アクセスポイントから測定点までの直線距離は 400 m を越えることもあり、直接無線通信するのは困難である。

プラント現場のパイプジャングルのエリアには、通常蒸留塔などのタワーが存在する。タワーの頂上付近はコントロール室の屋上を見通せることが多く、無線通信を行うためには、フレネルゾーンが確保できる点で理想的である。このため、図 5 に示すように、タワーの上部に中継機能を持つ無線中継器（以下リピータ）を取り付けると良い通信品質が期待できる。30 m 程度の高さに取り付けられたリピータから、測定点である無線伝送器までの距離は 50 m の範囲であれば良好な無線通信品質が確保できることが経験上わかっている。これは、見通しが取れなくても周囲が金属の構造物であるために無線の反射が有効に働くためである。ただしパイプジャングルの中での 50 m を越える通信は、無線通信品質が悪い場合が多いので注意が必要である。

以上のように、リピータを高所に取り付けることにより、無線アクセスポイントとの通信ではフレネルゾーンが確保できるばかりでなく、人や車などの障害物が通信経路を塞ぐ危険をなくすることができる。通常、無線通信経路は上位システムに対して複数経路を持たせることで、障害物が入ることによる通信障害を低減することができる。スカイメッシュ方式はこの点で何が通信障害を起こすのか予想が付きやすい。

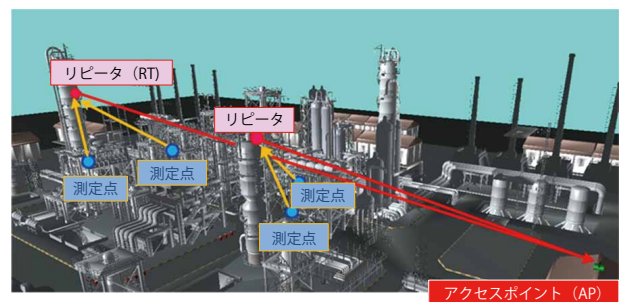


図 5 スカイメッシュ方式の概念図

### 5. スカイメッシュ方式でプラント内に配置した結果

実際にプラント現場で、スカイメッシュ方式で設計した配置が有効であるかどうかの検証を行った。

5.1 プラントのイメージ

プラントのイメージを図 6 に示す。

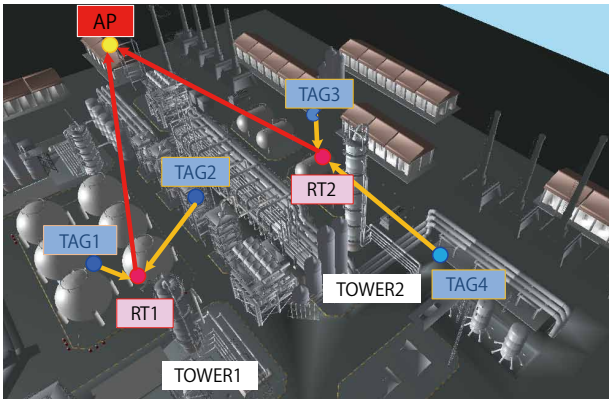


図 6 検証を行ったプラントのイメージ図

無線アクセスポイント (AP) のアンテナは平屋のコントロール室屋上から 2 m の高さに設置した。測定点はパイプジャングルの中に 4 点 (TAG1 ~ TAG4) あり、コントロール室からの距離は最大で 400 m である。

5.2 実際の設計

4 つの測定点から 50 m 以内に 2 つのタワー (TOWER1, TOWER2) がある。それぞれのタワーから無線アクセスポイントは、フレネルゾーン半径が確保でき、見通しが利いているので、RT1, RT2 の 2 個のリピータを取り付けた。TAG1, TAG2 からは RT1 の見通しはないが、距離は 50 m 以内なので無線通信上問題ないと判断した。同様に、TAG3, TAG4 は RT2 からの距離が 50 m 以内なので、見通しが取れなくても無線通信上問題無いと判断した。

5.3 無線通信の評価結果

約 1000 パケットの無線通信で得られた、トポロジーおよび、それぞれの経路の PER を図 7 に示す。

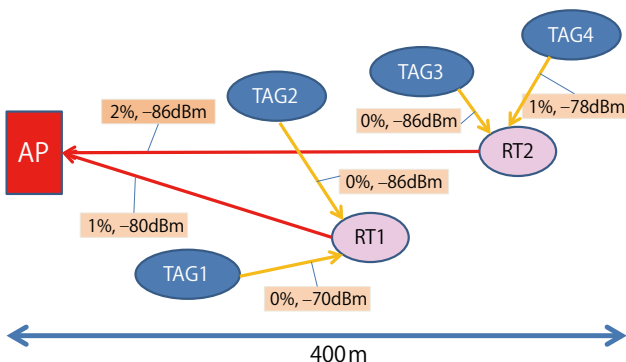


図 7 無線通信結果

5.4 考察

図 7 の経路と PER を表で表すと、以下の表 1 となる。

表 1 経路と PER および通信信頼性

| 測定点  | 経路 1       | PER  | 経路 2     | PER  | エラー率 | リトライ 4 回時の通信信頼性 |
|------|------------|------|----------|------|------|-----------------|
| TAG1 | TAG1 → RT1 | 0.0% | RT1 → AP | 1.1% | 1.1% | 99.9999985%     |
| TAG2 | TAG2 → RT1 | 0.0% | RT1 → AP | 1.1% | 1.1% | 99.9999985%     |
| TAG3 | TAG3 → RT2 | 0.0% | RT2 → AP | 1.8% | 1.8% | 99.9999895%     |
| TAG4 | TAG4 → RT2 | 0.9% | RT2 → AP | 1.8% | 2.7% | 99.9999469%     |

例えば TAG1 から送信されたパケットは RT1 まで 0% の PER で到達し、このパケットは 1.1% の PER で AP に到達する。もし、リトライがなければ 1.1% のパケットは届かないことになる。つまり、TAG1 が 1000 回、データを上位に送信した場合、11 回は上位に届かないことが予想される。実際にはリトライは必ずあり、当社のフィールド無線用一体型ゲートウェイ YFGW710 を使用したシステムでは、データの更新周期が 10 秒の設定では 4 回のリトライが入る。すると、1 から 1.1% の 4 乗を引いた値が通信信頼性となり、最もエラー率が悪い TAG4 でも 99.9999% 以上である。

しかし、今回のトポロジーではリピータの故障時や電池の交換時に、下位システムに接続されている無線伝送器のデータが取れない。これを避けるためには、それぞれのリピータの近傍に 1 個ずつ合計 2 個のリピータを追加することとした。この構成を取ることにより、通信信頼性は更に 2 倍の値に向上する。

6. おわりに

スカイメッシュ方式で無線機器の配置設計を行い、良好な結果が得られた。

一般的に無線通信は有線の通信に比べ、桁違いに通信信頼性がないと言われる。物理層レベルでは確かに無線通信の BER は高い。しかし、無線通信回路は日進月歩の進化を遂げており、信号処理やリトライなどの工夫で、通信信頼性を確保している。今後、通信方式も含め更なる改良が加えられることで、無線と有線の通信信頼性は同等となっていくと考えられる。

しかし、無線通信で使用している電波の特性は変わることはなく、今後も配置設計は重要である。

参考文献

- (1) 吉岡毅, “フィールド無線機器の目指すもの”, 計装, Vol. 54, No. 10, 2011, p. 21-25
- (2) 三瓶政一, デジタルワイヤレス伝送技術—基礎からシステム設計まで, ピアソンエデュケーション社, 2002

\* YFGW は横河電機株の登録商標です。