



# 工場IoT用オール無線ネットワーク

Multi-Hop Wireless Network for Industrial IoT

山本 剛史\*  
Takashi Yamamoto

岡田 洋侍  
Yoji Okada

工場現場の情報収集に無線通信を活用できれば、ネットワーク工事が不要になるため、ライン変更や工程の組み替えに対応しやすい。しかしながら、無線通信で使用する電波の強さは設備の配置換えやフォークリフト・人の移動によって頻繁に変化するため、利用者が求めるデータの精度を確保しつつ、長期間安定して通信できるようにするのは困難であった。そこで、自動で通信品質を管理することにより、安定して大量のデータを収集可能なオール無線ネットワークシステムを開発したので報告する。

If wireless communication is utilized to collect data from a production site, manufacturing processes can be modified more flexibly without building a new network. However, it is not easy to achieve stable wireless communication in a factory because signal strength changes frequently due to various factors such as the rearrangement of equipment and the movement of machinery and workers. Therefore, we have developed a wireless repeater and controller that automatically manage communication quality. This development will enable all-wireless networks for quick and reliable data collection.

キーワード：工場IoT、無線中継

## 1. 緒言

働き方改革ならびに少子高齢化・グローバル化に対応するため、製造現場では生産性向上が大きな課題となっている。当社工場内でも、データ取得および利活用の取組が進んでおり、IoT/AIなど情報通信処理技術を生産性の改善に役立てようとするニーズが高まっている。しかし、データ収集には基盤となるネットワークが必要で、かつ、ライン・レイアウトの変更による設備・センサの位置変更も頻繁に起きる。ネットワーク工事のためにライン停止や工程調整が必要な現場も多い。よって無線通信を用いてネットワーク基盤を構成することが有効と思われるが、携帯電話など公衆回線では毎月の通信料が必要で無線機器の設置数を増やすのが困難である。一方、無線LANで自営網を構築する場合は、電波の到達距離が短い、アクセスポイント（AP）を接続するネットワークケーブルの敷設が必要になる。加えて、オフィス事務用途や設備制御などの無線LANとの干渉や帯域調整も課題となる。

そこで我々は携帯電話・無線LANや有線ネットワークを使わずに、工事不要、かつ、安定した通信が可能な、工場IoT用の自営無線通信網（オール無線ネットワーク）の基礎検討を続けてきた<sup>(1)</sup>。今回試作開発して、工場現場でフィールド実験を実施したので報告する。

## 2. 試作システム・機器の概要

図1に工場IoT用オール無線ネットワークの利用イメージを示す。工場内の各所に置かれたセンサで取得したデータを、中継機・コントローラを経由して、管理サーバに集約

する。集約までの通信線はすべて無線で実施する。コントローラは無線通信の中継経路を管理・制御し、設置時に経路を自動設定した後、運用中にもフォークリフトなどの障害物があったときは自動で経路を切り替える。

図2にシステムの全体構成図を示す。各センサの識別子

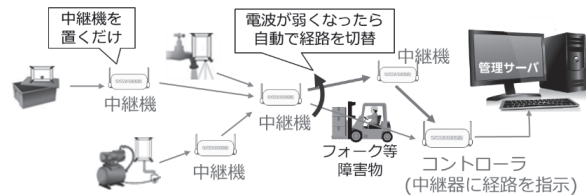


図1 利用イメージ

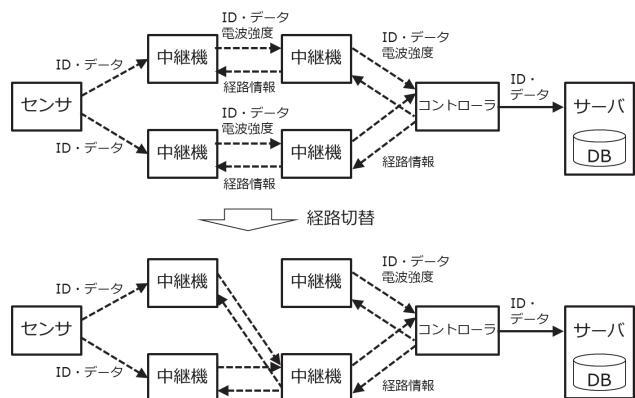


図2 システム構成図

(ID) とデータは各中継機・コントローラを経由して上位サーバに集約される。各中継機は、センサデータを中継するとともに、その通信に関する電波の強さやデータ量などの情報をコントローラに報告する。コントローラは自動的に中継経路からの報告を分析し、最適な中継経路を判断して中継機に指示する。

図3に中継機内部の構成を示す。スイッチ部は無線モジュールから入ってきたセンサID・データ信号の経路制御(ルーティング)を行う。情報取得部はスイッチ部からデータを受け取り、電波強度・損失率などのリンク情報を計算してリンク情報通知部に送る。また、自分宛の経路情報を受け取った場合、経路テーブルを更新する。経路テーブル部はスイッチ部の経路制御で使用する経路テーブルを保持する。リンク情報通知部は情報取得部から受け取ったリンク情報をスイッチ部に送信する。ただし、このときリンク情報の最終宛先はコントローラにしている。

図4にコントローラ内部の構成を示す。コントローラと中継機のハードウェアは共通であり、内部のソフトウェアのみ異なる。コントローラは中継機用と同じ中継ソフトウェ

アに加えて、コントローラソフトウェアが動作している。コントローラソフトウェア内のリンク情報取得部はネットワーク内の各中継機から送信されたリンク情報を取得する。判断部はリンク情報から最適な経路を判断する。経路情報通知部は経路情報を中継機に通知する。管理情報通知部はサーバに対して各中継機のリンク情報を通知する。

写真1に試作した中継機の写真、表1に諸元を示す。



写真1 中継機外観写真

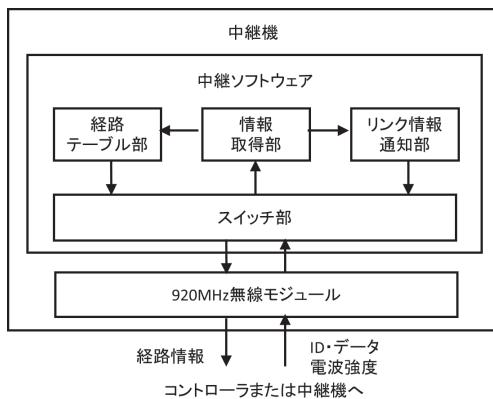


図3 中継機ブロック図

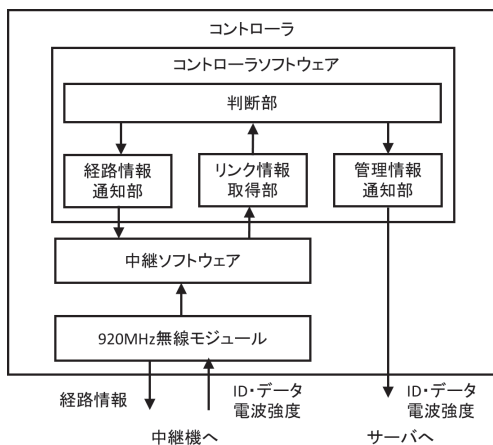


図4 コントローラブロック図

表1 試作中継機・コントローラ通信諸元

項目	仕様
通信方式	920MHz帯特定小電力標準規格 ARIB STD-T108準拠
通信トポロジ	メッシュ
トポロジ制御方式	集中制御型
最大中継数	255 (実績値5)
最大中継機収容台数	255 (実績値10)
最大センサ収容台数	伝搬環境に依存 (実績値105)
使用周波数帯	922.5MHz~927.7MHz
周波数チャンネル数	14
空中線電力	20mW
アンテナ数	4
伝送距離	屋内: 約50m

本試作ネットワークの最大の特徴はメッシュ型の通信トポロジでありながら、集中制御型の経路制御を実現した点にある。従来技術<sup>(2)</sup>は分散制御のため、急な無線伝搬路変動があった場合に安定した通信を確保するのが困難だった。

また、今回の試作は、工場内の既存無線ネットワークとの干渉を避けるため、比較的新しい920MHz帯特定小電力標準規格を採用した。しかし現行試作のままだでも無線部のみ差し替えれば、無線LANなど既存方式でも全く同じハード構成で中継ネットワークを構築可能である。最後に、中継段数・収容中継機数・収容センサ数は通信環境にのみ依存する。機器設計仕様上の制約はほとんどない。

### 3. 当工場におけるフィールド実験

#### 3-1 無線中継実験概要

本稿では、当社グループ内工場にて実施中のフィールド実験の結果を紹介する。当該工場のレイアウトから本実験に関するものを抜き出した概略を**図5**に示す。

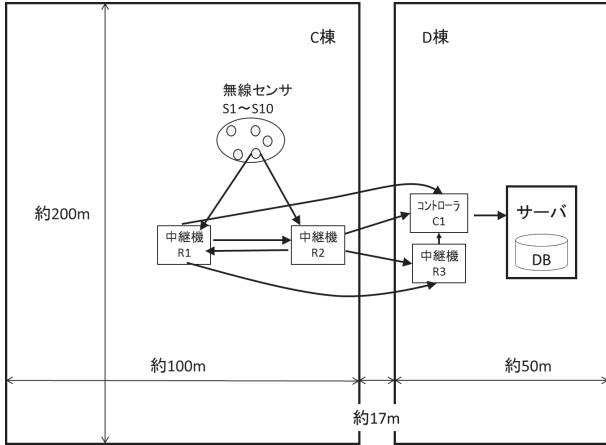


図5 工場フィールド実験のレイアウト

センサはS1からS10まで計10個（詳細は**表2**参照）で送信周期は1分、コントローラはC1の1台、中継機はR1からR3の3台である。

さて、本実験では生産現場の情報収集のためセンサをC棟に設置し情報収集することを目的としている。工場詰所がD棟にあるため、データ蓄積・管理はD棟で行う必要がある。両建屋の間には幅約17mの道路があり、C棟からD棟に直接電波は届かない。さらに、この道路は人が歩行だけでなく物流・運搬用の車両が不定期に行き来しており、電波環境は安定していない。無線による通信が困難であるからといって工場内LANケーブル配線工事をするのは投資が必要となるうえ、事前に計画を立てておく必要がある。一方で、生産現場では日々新たな課題が発生している。無線は現場導入障壁が低く、比較的短期にデータ収集を開始できる。そこで、工場側と合意して無線中継実験を進めた。

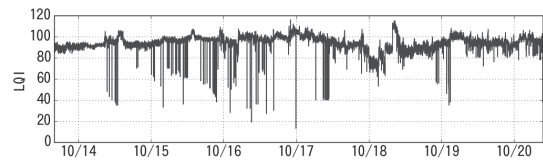
#### 3-2 実験結果

**表2**に工場に設置した10個のセンサの packets 損失率を示す。9月26日からの4週間で packets 損失率が減少していることがわかる。これは主に中継機の設置位置を調整していることに起因する。電波環境に合わせて中継機設置を修正することでエリア性が改善することがわかる。

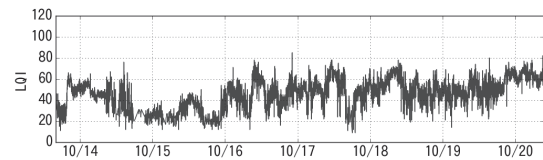
**表2**の結果を裏付けるデータとして、**図6**にセンサ端末と中継機間のLQI (Link Quality Indication) 特性を示す。ここで、LQIは標準規格 ARIB STD-108で採用されている

表2 センサ端末パケット損失

センサ	ロス率 [%]			
	9/26-	10/3-	10/10-	10/17-
S1	1.67	1.96	0.33	0.13
S2	3.01	1.69	0.28	0.18
S3	2.13	2.22	0.30	0.15
S4	2.74	1.85	0.29	0.13
S5	2.44	1.91	0.29	0.19
S6	1.9	1.86	0.27	0.05
S7	2.81	1.84	0.36	0.39
S8	2.32	1.93	0.46	0.11
S9	1.96	2.32	0.27	0.06
S10	1.90	1.74	0.21	0.14



(a) センサS1と中継機R1間



(b) センサS1と中継機R2間

図6 センサと中継機間のLQI特性

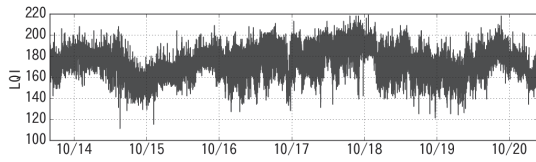
IEEE802.15.4<sup>(2)</sup>上の規格である。詳細な仕様はICメーカーがそれぞれ設定するものであって、値は最小0、最大255の製数値をとる。物理的には信号の強度もしくは信号電力対雑音電力比 (SNR) を意味する。横軸は時間であり10/14-10/20までの6日間のデータを示している。

全体として、電波の反射・回折により無線の伝搬環境が大きく変動することがわかる。また相対的に見て、(a) センサS1と中継機R1間のLQIの値は大きく、通信路として有利であることがわかる。ただし、瞬間的にLQIの落ち込み時には、センサS1は中継機R2と通信する方が有利となる時間帯もあることが見て取れる。

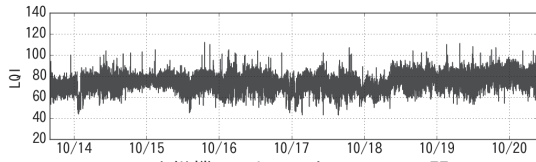
同様に、中継機間のLQI特性を**図7**に示す。

中継機R2とコントローラC1間は道路をまたぐため、やや電波が弱い。そこで、中継経路S1⇒R1⇒R2⇒C1の一部の区間で電波が弱いときには、中継機R3を使った経路やR1からC1に直接行く経路を自動的に選択する方が packets 損失率を減らす上で有利となる。

**図8**に中継段数の時間変化を示す。中継機R1⇒R2⇒C1の経路が主ではあるが、電波環境の変化に合わせて約1週間の間に中継経路が頻繁に変化していることがわかる。

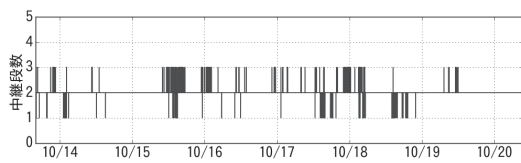


(a) 中継機 R1 と中継機 R2 間



(b) 中継機 R2 とコントローラ C1 間

図7 中継機間のLQI特性

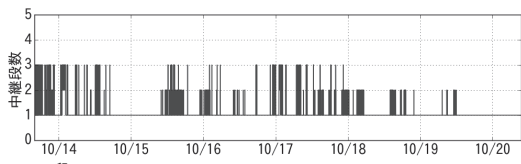


1 段 : R1⇒C1

2 段 : R1⇒R3⇒C1、R1⇒R2⇒C1

3 段 : R1⇒R2⇒R3⇒C1、R1⇒R2⇒R3⇒C1

(a) 中継機 R1 からコントローラ C1 までの中継段数



1 段 : R2⇒C1

2 段 : R2⇒R1⇒C1、R2⇒R1⇒C1

3 段 : R2⇒R1⇒R3⇒C1、R2⇒R3⇒R1⇒C1

(b) 中継機 R2 からコントローラ C1 までの中継段数

図8 中継段数の時間的变化

## 4. 結 言

工場用オール無線ネットワークを構成する中継機・コントローラの試作内容とフィールド実験結果について示した。試作機は工場の無線エリアを手軽に拡張する手段として有効に活用されている。今後は、更なるパケット損失率改善に取り組む予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 北川 他、「QoEを制御指標にしたM2M動的無線通信ネットワーク制御技術の研究開発」、信総大 B-17-6 (2015)
- (2) C. Perkins, E. B. Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance vector (AODV) routing. RFC 3561" (2003)
- (3) LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks specific requirements part 15.4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs). IEEE Std 802.15.4-2011" (2011)
- (4) SensorCore-省電力無線センサを使った工場IoTソリューション、<http://sensorcore.jp/feature/> (2017)

## 執 筆 者

山本 剛史\* : IoT研究開発センター 主査



岡田 洋侍 : IoT研究開発センター グループ長



\*主執筆者