

無線操作機能を搭載したスマート燃焼制御装置の採用と今後の展望について



渡部 貴大 ㊦
 坂口 学 ㊦
 江本 純一 ㊦
 樋渡 和也 ㊦
 安永 雅典 ㊦

要旨

日立造船は、ごみ焼却プラント向けに無線操作対応のスマート燃焼制御装置を製作・納入した。これにより、ごみ焼却プラントの要となる燃焼制御装置の現場操作性が向上し、機器調達だけでなく、工事・試運転の費用が削減された。

技術面では、タブレットによる場所を選ばない各機器の状態監視・操作およびPLCソフトの内部設定値の確認・変更等を可能とし、機能性の向上を達成した。また、Wi-Fiシステムの通信信頼性やセキュリティ面に最大限に配慮した設計とすることで、安定した通信性と幅広い通信エリアで機能することを確認した。

費用面では、無線化に伴う機器費や工事材料費、更には工事・試運転にかかる人件費の削減により、大幅なコストダウンを達成した。また、無線化によって敷設ケーブルを大幅に削減できたことから、ケーブル断線やそれに伴う漏電等の発生リスクも軽減され、保守費の抑制に寄与するものとなった。

キーワード

ごみ焼却, 燃焼制御装置, 無線化, タブレット, Wi-Fi, 工期短縮, コストダウン

1. 緒言

当社は、ごみ焼却プラントにおいて、設計・建設・運営を手掛け、これまでの事業で培った経験を活かし、技術の高度化や新しいサービス展開を行っている。AIによるごみクレーンの自動化¹⁾や、炉内温度などの情報をもとに数分～数十分後の蒸気発生量をAIで予測するシステム²⁾の開発がその例である。スマートデバイスを用いた点検アプリケーションについては開発を完了しており、既に活用が進んでいる。

一方、ごみ焼却プラントの要となる燃焼装置廻りの油圧ポンプや給じん装置、火格子等の数多くある補機の現場操作は、ハードワイヤで接続された現場操作箱を使用している。現在では、無線LAN技術が進歩し、これらの補機の無線操作化は実現可能である。無線操作化によりフレキシブルな操作が可能になり、現場操作性の向上に加えて、工期短縮や現場業務の削減等が期待できる。

プロジェクトを受注するためにコストも重要である。ごみ焼却プラントの設計技術は日本や欧州メーカーが先行しているが、海外、特に中国および東南アジア市場におい

ては、中国企業の台頭により受注競争が激しくなっている。システムの無線化により無線化機器の追加費用は発生するが、無線化に伴う操作端の機器費やケーブルなどの工事材料費、更には工事・試運転にかかる人件費については削減となるため、トータルでは費用削減が見込める。これらのことから、無線操作機能を搭載したスマート燃焼制御装置の導入を検討した。

本稿では、中国でのプロジェクトにおいて、実際にスマート燃焼制御装置を製作し、商業運転にて使用した結果をもとに評価とその有用性について述べる。また、機器調達および工事・試運転の費用面での効果を考察し、技術面と併せて報告する。

2. 技術面での事前検証および詳細設計

2.1 対象プロジェクト 対象プロジェクトは中国江蘇省常熟市の常熟Ⅱ期拡張プロジェクト(以下、常熟Ⅱ期プロジェクト)とした。常熟Ⅱ期プロジェクトの概要を表1に示す。

2.2 システム構成 図1に従来の燃焼制御装置の構成を、図2にスマート燃焼制御装置の構成を示す。

従来の燃焼制御装置は燃焼系統制御盤(Combustion

㊦ 環境事業本部 設計統括部 電気計装制御設計部

㊦ 機械・インフラ事業本部 制御機器部

表1 常熟Ⅱ期プロジェクトの概要

工事名称	常熟市第二生活ごみ焼却発電所 拡張プロジェクト
施設概要	ストーカ式焼却炉：1,830 t/日 (610 t/日×3炉)、発電出力 45 MW
1炉当たりの 燃焼装置構成	給じん装置：1式 (3列) 乾燥段火格子：1式 (3列×2段) 燃焼段火格子：1式 (3列×3段) 後燃焼段火格子：1式 (3列×2段) ホップダンプ：1基 灰押出装置：2基 油圧ポンプ：2基

System Control Panel：以下、CSCP) ならびに給じん装置・各火格子・ホップダンプ・灰押出装置・油圧ポンプそれぞれの現場操作箱にて構成され、CSCPと各現場操作箱はハードワイヤにて接続される。また、CSCPはアナンシエータを搭載しており、油圧系統の各機器の故障や制御盤の一括警報等の表示機能を有する。図1は1炉分の燃焼制御装置の構成を示しているが、実際にはこれが各炉分存在することになる。

スマート燃焼制御装置は、遠隔監視・操作機能を有するタッチパネル (Touch panel：以下、TP) をCSCPに搭載し、現場操作箱の代わりとなる遠隔監視・操作用タブレット (Tablet：以下、TAB) とTABからの信号を受信するアクセスポイント (Access points：以下、AP) を設置することにより、Wi-Fiによる遠隔操作を可能にしている。なお、TPには従来のCSCPと同様に各機器の故障や制御盤の一括警報等の表示機能を持たせ、各機器の状態についても表示可能な仕様とした。例えば、給じん装置のストローク位置 (アナログ値) や各火格子の前進中/後退中もしくは前進位置/後退位置 (デジタル値) 等である。図2はすべての炉の構成を示しており、1台のTABで3炉分の現場操作箱の代わりを果たす。

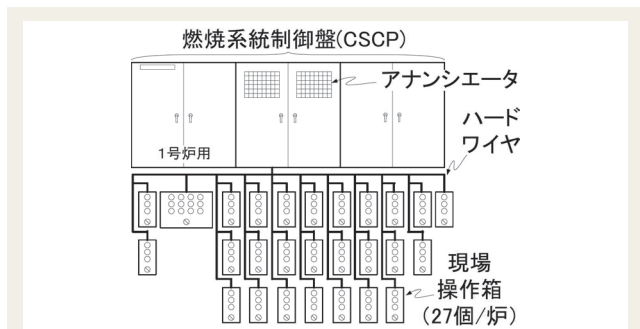


図1 従来の燃焼制御装置構成

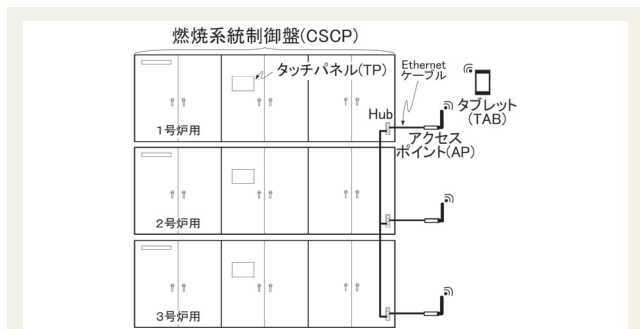


図2 スマート燃焼制御装置構成

図3にTPの各機器の状態表示および操作画面を、図4にTPの警報状態一覧画面を示す。

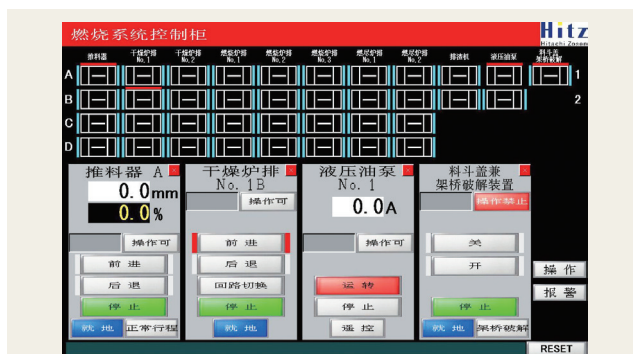


図3 各機器の状態表示および操作画面

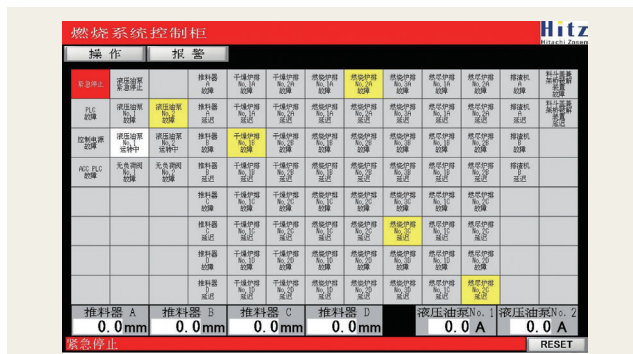


図4 警報状態一覧画面

図3および図4に示すTPの画面は操作端のTABでも表示可能であるため、Wi-Fiエリア範囲内ではどこからでもTABを用いて各機器の状態および警報状態を確認できる。

ここで、図5、図6および図7にTP、APおよびTABそれぞれの写真を示す。



図5 TP



図6 AP



図7 TAB

それぞれの機器の特徴として、TPは、画面設計の自由度の高さやIPアドレスの設定可能数、二重化PLCへの接続可否等の仕様から選定した。APは、世界50ヶ国以上にて電波認証を取得しており、ソフトウェア設定のCountry codeを設定することで、各国にて認証を受けた電波での通信を可能とした。TABは保護カバーおよび保護フィルム付きとすることで、防塵対策を講じ、耐久性に配慮した。保護カバーはハンドベルトおよびショルダーベルト付きとして、TABの落下対策や回転機器等への巻き込み対策を講じるとともに、他の作業時にも手が塞がることのないようにした。

2.3 遠隔操作 図8にCSCPの通信系統構成図を示す。TABの操作により、APを介してTPの遠隔操作が可能となる。TPは各機器を制御するPLCと接続されており、信号のやり取りを行うことで、各機器の状態の表示や操作を可能としている。また、LAN SWITCHを設置することで、TABによる遠隔操作の有効・無効を切り替えられる仕様とした。

TP・TABの操作画面は図3のとおりである。上部に表示されている操作対象から任意の機器を選択することで、下部にそのフェイスプレートが表示される。フェイスプレートを操作することで、運転・停止やリモート・ローカルの切り替え等ができる。

試運転中や定修時には安全のために各機器の操作を禁止することがあり、従来の現場操作箱においては、操作禁止札の掛札や現場操作箱に設けられたキーロックにより操作を禁止している。TP・TABにおいては、それぞれのフェイスプレートに操作可・操作禁止の切り替えボタンを設置することで、従来の現場操作箱同様、操作禁止の周知や操作禁止を可能にしている。

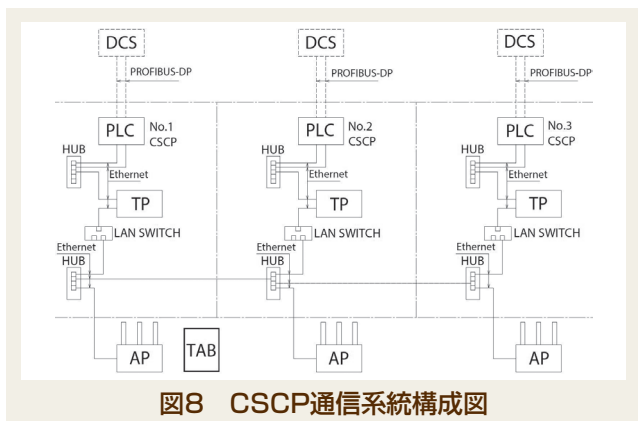


図8 CSCP通信系統構成図

さらに、各機器の状態の表示や操作だけでなく、タイマー等のPLCソフトの内部設定値をTPやTABから確認・変更可能な仕様とした。これによりPLC接続に必要な専用PCを使用することなく設定値の確認・変更が可能になるため、利便性の向上につながる。内部設定値の変更については、パスワード付きとすることでセキュリティ面について考慮した。

2.4 タッチパネル画面設計 TPの画面設計においては、TABでの表示も含めて視認性をよくして使いやすいものとするため、以下の点を工夫した。画面の一例および操作器の状態シンボルを図9に示す。

- メイン画面の画面上部に各操作器を並べ、下部に選択した操作器のフェイスプレートを表示することで、DCS画面操作の構成と近い意匠とした。
- 運転や停止、故障等の状態表示の色をDCSの表示と統一した。
- 号炉間違いによる誤動作を防止するために、ヘッダー帯色を各炉で違う色にすることで、現在の監視・操作対象の号炉を認識しやすくした。
- 警報履歴一覧画面を作成した。
- 操作器の状態は一目で認識できるようにシンボル化し、メイン画面ですべて同時に確認可能な構成とした。
- TP/TAB操作についての操作マニュアル（日中併記）を作成した。

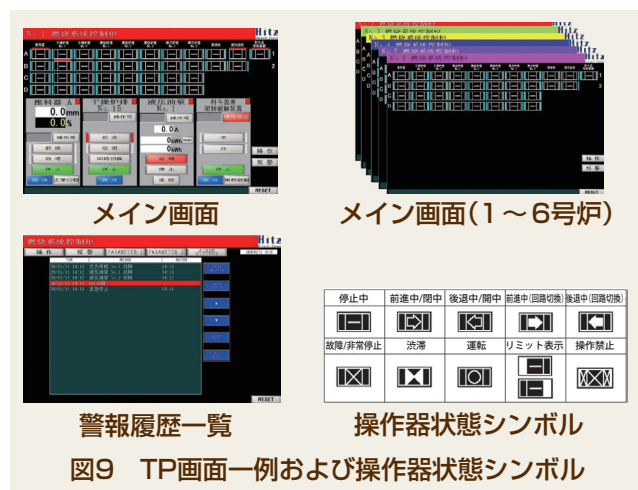


図9 TP画面一例および操作器状態シンボル

2.5 信頼性 既存システムの無線化を検討する際、電波障害やWi-Fiの不安定性によるアクセス遮断や操作時のタイムラグが懸念事項として挙げられる。広いプラントエリア内にはインバータ機器も多いことから広帯域ノイズが存在し、電波が回り込みにくいエリアも存在する。また、現場運転員が連絡を取り合うトランシーバや携帯電話の電波も錯綜しているため、実際の現場環境下におけるWi-Fiの信頼性について、事前に確認しておく必要がある。

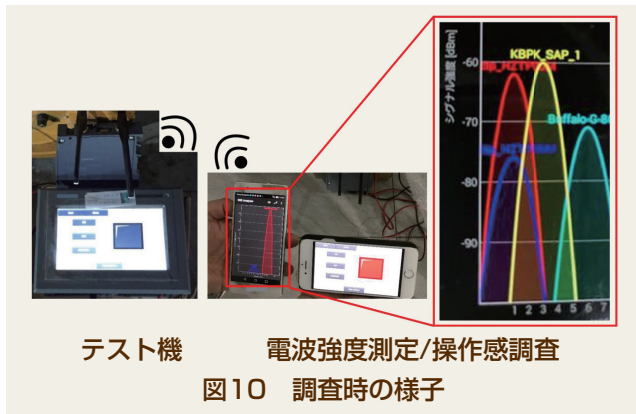
常熱Ⅱ期プロジェクトへの導入前に、より規模の大きい他の中国プロジェクト(850t/d×6炉、以下、施設A)の現場にて商業運転時のWi-Fiの電波強度および操作性について調査したので、その結果について以下に述べる。

2.5.1 Wi-Fiの電波強度および操作性の調査方法

テスト用に用意したTPとAP（以下、テスト機）と電波強度測定アプリをインストールしたスマートフォンを使用して、プラントエリア内各所にて電波強度を表すRSSI (Received Signal Strength Indicator) [dBm] を測定した。また、TABの代わりとして、Wi-Fiによるリモート監視・操作を可能とするアプリをインストールした別のスマートフォンを用いて、各所から遠隔操作を行い、操作感も調査した。応答性の確認には、スマートフォンからTPの遠隔操作を行い、操作後のアンサーバックをスマートフォンで確認する方法を採用した。Wi-Fiの電波強度および操作性についての調査は、APの最適な設置場所を検討することも目的としている。表2に調査方法の概要を、図10に調査時の様子を示す。

表2 Wi-Fiの電波強度および操作性の調査方法概要

テスト実施場所	施設 A 1号炉～3号炉 (1号棟)
テスト機設置場所	2号炉 CSCP 前、 2号炉 CSCP 階の炉前壁付近、 2号炉給じん装置前、 2号炉灰押出装置階の中央、 1・2号炉間
電波強度測定および操作感調査場所	給じん装置、各火格子、ホップダンパ、 灰押出装置周辺



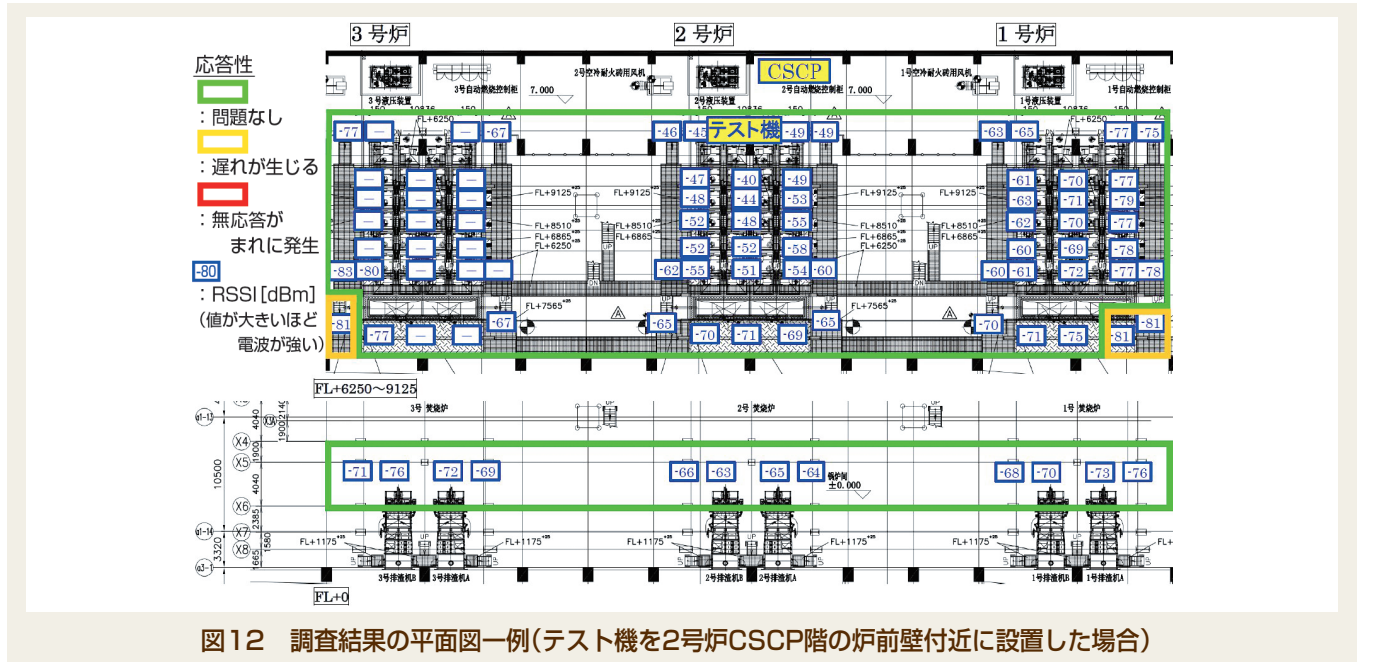
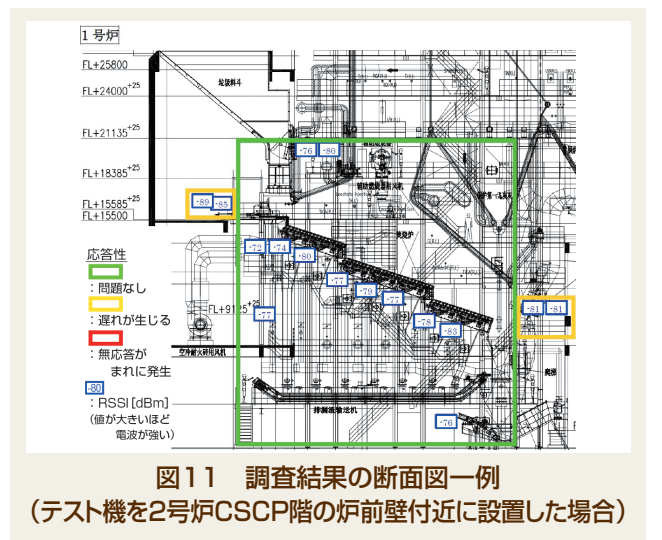
なお、Wi-Fi周波数帯については、指向性が高いため障害物の影響を受けやすい5GHz帯ではなく、周波数が低く電波の回り込みがよい2.4GHz帯にて行った。

2.5.2 評価方法

RSSIおよび操作時のアンサーバックの応答性から、RSSIおよび操作感調査場所を「応答性に問題なし」「応答に遅れが生じる」「無応答がまれに発生する」の3つに分類した。

2.5.3 調査結果

配置図にRSSIの値をプロットした。RSSIは値が大きいほど電波が強いことを示す。「応答性に問題なし」「応答に遅れが生じる」「無応答がまれに発生する」の3つの分類は、それぞれを、緑・黄・赤の枠線で囲った。なお、調査結果の一例として、図11にテスト機を2号炉CSCP階の炉前壁付近に設置した場合の1号炉の断面図を、図12にテスト機を2号炉CSCP階の炉前壁付近に設置した場合のFL+0 [mm]、FL+6250～9125 [mm] の平面図を示す。他に2・3号炉およびFL+11185～12005 [mm]、FL+15500 [mm]、FL+18585 [mm]にてデータを測定し、これらをすべてのテスト機設置場所パターンにて計測した。



調査の結果、テスト機設置場所を2号炉CSCP階の炉前壁付近とした場合に、「応答性に問題なし」のエリアが最も広くなり、2号炉全体が「応答性に問題なし」のエリアに入った。1・3号炉も一部が「応答性に遅れが生じる」エリアとなったが、大部分が「応答性に問題なし」のエリアでカバーできた。本調査にて、実際の現場環境下で、Wi-Fiによる遠隔操作が可能であることを実証できた。

なお、油圧ポンプは、試運転時においてモータ回転方向確認のために寸動動作が要求される。TABおよびTPの操作ボタンはオルタネイト式であるため、運転および停止ボタンを瞬時に連続して押す必要があり、素早いWi-Fi応答性が求められる。本調査において寸動動作に問題ないことを確認し、常熟Ⅱ期プロジェクトのCSCPの工場検査においても、応答性に問題ないことを確認した。

2.5.4 AP設置場所の決定 調査結果を踏まえ、常熟Ⅱ期プロジェクトでのAPの設置場所はCSCP階の炉前壁付近とし、APは各炉にそれぞれ1つずつ設置することとした。これは、より確実な応答性をそれぞれの炉で確保するためである。

また、図13に示すように各炉のCSCPをEthernetケーブルでバス型接続することにより、無線システムの信頼性向上を図った。いずれのAPからでも任意のTPにアクセスできる仕様とすることで、TPへのアクセス経路を複数確保した。各炉のCSCPの接続は、1台のTABですべての炉の状態監視および操作が可能となるため、利便性の向上にもつながると考えられた。

なお、APはバッテリー駆動ではなくCSCPからのDC24V給電による駆動であるため、バッテリー切れによる通信遮断は発生しない。加えて、TABの充電ポート・充電スペースをCSCPに設け、TABの充電切れにも即座に対応できるようにした。

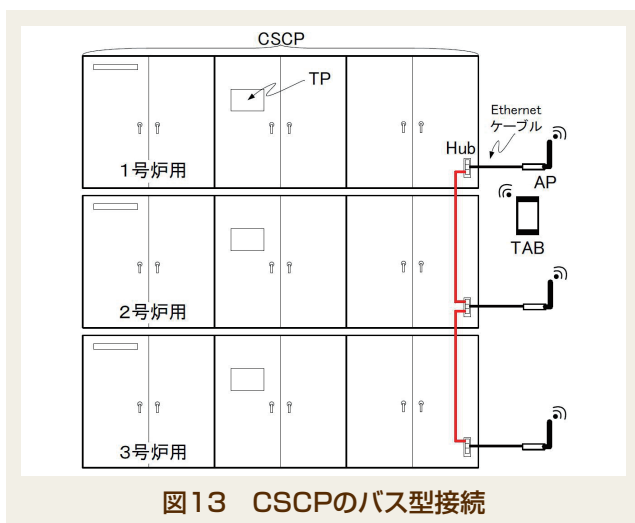


図13 CSCPのバス型接続

以上のように、良好な電波状況が得られる位置へのAPの設置、各炉へのAPの設置、および各炉のCSCPの接続、と複数の信頼性確保への対策を講じた。しかしながら、ごみ焼却施設全体に及ぶような大規模な電波障害がないとも断定できない。Wi-Fiが使用できないような最悪のケースへの備えとしては、2.3節「遠隔操作」で

述べたように、TPでも各機器の操作が可能な仕様とし、無線システムが機能しなくなったとしても問題はないシステムとした。

2.6 安全性 無線化採用にあたって信頼性の他に防犯上の安全性の確保が重要となる。そこで、Wi-Fiは公衆回線を使用するのではなく、パスワードにて保護したプラント内専用回線とした。これにより、通信内容を簡単に取得される心配がなくなる。また、図14に示すようにTPへ2つのIPアドレスを設けた。PLCと通信を行う制御系ネットワークのIPアドレスとAPと通信を行う情報系ネットワークのIPアドレスである。このように、TPを境に通信システムを2つに分けることでPLCへの侵入を防ぐ、安全性に配慮した設計とした。

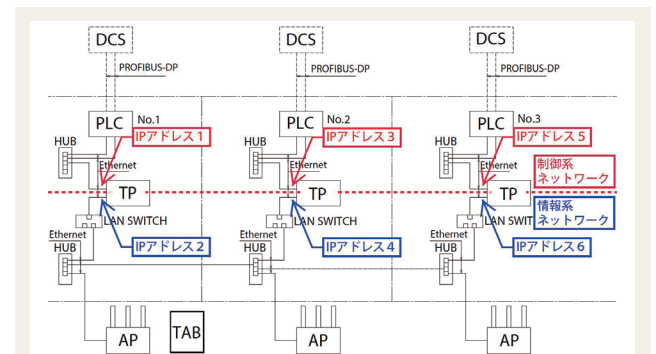


図14 制御系ネットワークと情報系ネットワーク

3. 価格面での事前検証および採用可否

従来の燃焼制御装置の価格からスマート燃焼制御装置を採用することによる価格の増減を精査するとともに、2章の技術面での事前検証と合わせて採用の可否を検討した。

その結果、無線化に伴う機器費や工事材料費、更には工事・試運転にかかる人件費の削減により、イニシャルコストの大幅な削減を達成できた。また、当社だけでなく、客先所掌の範囲においてもコストダウンとなり、スマート燃焼制御装置を採用することで当社および客先双方にコストメリットがあることが分かった。

以上より、2章の技術的事項を考慮した設計としても、スマート燃焼制御装置の採用による大幅なコストダウンを達成でき、燃焼制御装置の現場操作性の向上とコストダウンの両立が可能なが分かった。よって、常熟Ⅱ期プロジェクトにてスマート燃焼制御装置を採用することとした。

4. 現場検証

常熟Ⅱ期プロジェクト現場にて試運転から商業運転までスマート燃焼制御装置を稼働させたので、その際のスマート燃焼制御装置の評価と有用性について述べる。

4.1 スマート燃焼制御装置の操作性 常熟Ⅱ期プロジェクト現場で、操作性について確認を行った。図15および図16は操作感についての現場SV報告資料の抜

枠である。施設Aでの調査同様に、操作箇所を「応答性に問題なし」「応答性に遅れが生じる」「無応答がまれに発生する」に分類し、それぞれを、緑・黄・赤の枠線で囲ってある。なお、工事途中での確認および報告であるため、APは1号炉のみの設置である。

図15および図16から分かるように、1号炉の大方が「応答性に問題なし」エリアとなっており、また現場SVの報告においても応答性に問題ないとの評価が得られ、常熱Ⅱ期プロジェクト現場においてもWi-Fiを用いたスマート燃焼制御装置は広範囲にわたり機能することを実証できた。図17に実際のAP設置状況の写真を示す。

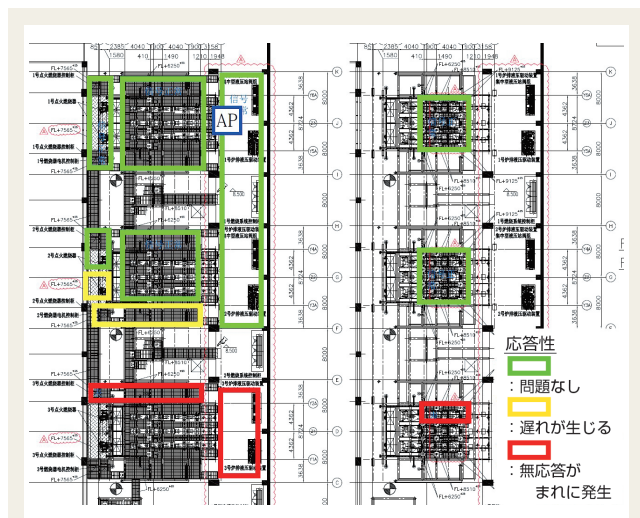


図15 確認結果の平面図一例

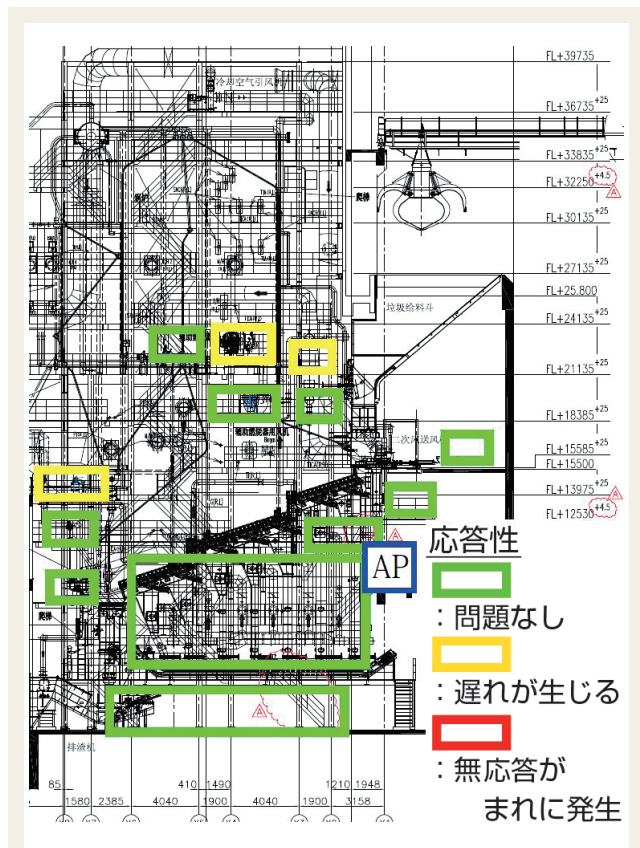


図16 確認結果の断面図



図17 AP設置状況

4.2 工事時における評価

工事段階における

スマート燃焼制御装置の評価について、現場SVの報告をもとに以下に述べる。

ケーブル敷設・結線作業が大幅に削減され、工期短縮にもつながった。施工後のケーブル断線やそれに伴う漏電といった不具合の発生リスクも軽減されたため、今後の保守費も抑えられる。

なお、海外プロジェクトでは、工事期間中もしくは試運転が開始されても炉室の屋根の施工が終わっていないことが多々ある。この場合、現場操作箱への雨水の浸水等により電気機器が破損する恐れがあるが、スマート燃焼制御装置では現場操作箱が存在しないため、リスク軽減にもつながる。

このように、スマート燃焼制御装置の採用は、工事費用・保守費の削減や工期短縮、更には機器破損のリスクの軽減といった面から評価できた。

4.3 試運転時における評価

試運転段階における

スマート燃焼制御装置の評価について、現場SVの報告をもとに以下に述べる。

スマート燃焼制御装置には現場操作箱が存在しないため、従来必要であった現場操作箱～CSCP間のループチェックは不要となった。さらに、TABの場所を選ばない監視および操作性により、ループチェックに掛ける時間・人員が大幅に削減された。操作機器が火格子下等のアクセス性が悪く狭まった場所にある場合、現場操作箱は操作機器の直近から少し離れた場所に設置せざるを得なかった。そのため、現場操作箱からの操作機器の動作確認は容易ではなく、動作確認は2人以上で行う必要があった。一方、TABを使用することにより、操作機器直近にて操作が可能になったため、1人でも動作確認が可能となった。この際、従来の現場操作箱と違いTPおよびTABの操作ボタンはオルタネイトボタンであるため、ボタンを押し続ける必要がなくなり、確認の容易性が増した。油圧ポンプのループチェックの際には寸動動作により回転方向チェックを行うが、遠隔操作での動作確認も問題なく行えた。その他の機器の動作確認についても、電波障害等なく行うことができた。

さらに、配線・結線作業が低減されていることにより、工事の後戻りやループチェックの再実施を減らすことができた。PLCソフトの内部設定値の変更時においては、専用PCを利用することなくTABから容易に設定変更ができるため、現場SVの業務負担軽減につながった。

一方、油圧ポンプの操作について、誤動作防止のためのダイアログボックスの設置や、機器のインターロック状態について視認性をよくするため色付き表示にする等、現場SVから改善提案もあった。

以上のように、一部改善の余地はあるが、スマート燃焼制御装置の採用により、現場業務の削減も可能であることが確認できた。

スマート燃焼制御装置の採用は、燃焼装置の現場操作性の向上だけでなく、工期短縮や現場業務の削減等、多面的にメリットを発揮することを実証できた。3章にて、イニシャルコストが大幅に削減されることを確認したが、施工後の保守費の軽減等、メンテナンスのコスト削減に寄与することも確認できた。これらのことから、スマート燃焼制御装置の有用性が大いに示された。

5. 今後の展望

常熟Ⅱ期プロジェクト以降、各海外プロジェクトでスマート燃焼制御装置が採用されており、客先からの評価も良好である。今後は、前章で述べた現場SVの提案事項を設計に反映することにより、現状のスマート燃焼制御装置の改善につなげる。

また、MCC操作やコンベア操作等、燃焼制御装置以外の機器を含めたごみ焼却施設全体の現場操作無線化を行うことにより、施設全体のスマート化につなげ、更なるコストダウンを達成したい。

6. 結 言

本稿では、ごみ焼却プラントの要となる燃焼制御装置の現場操作性の向上と、機器調達および工事・試運転

の費用削減を目的とし、無線操作機能を搭載したスマート燃焼制御装置の有用性について考察した。

その結果、スマート燃焼制御装置の有用性は技術・価格面の双方より明らかであり、更なる改良を進めつつ、引き続き各プロジェクトにて採用を進めていく所存である。

SDGsに貢献する技術

燃焼制御装置の無線化に伴い工事材料の低減に繋がる。資源節約を推進できる。

謝 辞

最後に、本試験において、多大なご協力をいただきました常熟浦発第二熱電能源有限公司の皆様にご心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 小浦洋平, 川端馨, 林万里央ほか: AI技術を用いたごみクレーン自動運転システムの運用報告, 第39回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 2017, 70-72.
- 2) 山瀬康平, 阪口央紗, 古林通孝ほか: AI技術を活用したストーカ炉の燃焼安定化, 日立造船技報2018, Vol.79 No.1, 18-24.

文責者

日立造船株式会社
環境事業本部 設計統括部
電気計装制御設計部 計装グループ
渡部貴大
Tel : 06-6569-0259 Fax : 06-6569-0256
E-mail : watanabe_takahiro@hitachizosen.co.jp

Introduction of and Outlook for Wireless Operation Enabled Smart Combustion Control System

Abstract

Hitachi Zosen produced and delivered a wireless operation enabled smart combustion control system for a waste incineration plant, which successfully provided improvements in human-machine interface (HMI) operability for the key combustion control station and cost reductions in not only equipment procurement but also construction and commissioning work.

Technically, the system enabled enhanced functionality by allowing monitoring and operation of the main equipment using mobile tablets, and the checking and adjustment of internal settings through the HMI. The Wi-Fi system was confirmed to provide stable connection over a wide area owing to a design that prioritized maximum reliability and security.

In terms of cost, the wireless design led to substantial reductions in initial costs related to equipment and construction materials, and even the manpower required for construction and commissioning. And because wireless involved significantly less cabling, the design also diminished the risk of cable breakage and hence electrical leakage, contributing to lower maintenance costs.

Authors

Takahiro Watanabe (Hitachi Zosen Corporation, E-mail : watanabe_takahiro@hitachizosen.co.jp)
Manabu Sakaguchi Junichi Emoto Kazuya Hiwatashi Masanori Yasunaga