

制御共通プラットフォームを採用した制御装置の 適用事例（バイナリー発電）

川崎 政芳 ^{*1} 中村 元 ^{*2}
Kawasaki Masayoshi Nakamura Hajime

バイナリー発電は、水よりも沸点の低い媒体を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービン発電機などを駆動させて電気を得るシステムである。従来利用できなかったガスエンジン、ディーゼルエンジンなどのエンジン排熱や化学工場、ボイラなどの産業用排熱、および太陽熱、地熱、バイオマスなどを利用した発電が可能である。

IHI グループのバイナリー発電への取り組みと、当社の担当した IHI の制御共通プラットフォームを採用した制御システムについて紹介する。

キーワード：バイナリー発電、有機ランキンサイクル、ORC、CO₂ 削減

1. はじめに

パリ協定を踏まえ、地球温暖化現象の原因である温室効果ガスの排出削減への要求が世界的に高まり、日本では二酸化炭素（CO₂）などの排出量を 2030 年までに 13 年比で 26% 減らす目標に取り組んでいる。これまで利用されずに捨てられていた低温（200℃ 以下）の熱源を活用するバイナリー発電は有効な新エネルギーであり、電気事業法の規制緩和と固定価格買取制度の導入を受けて急速に導入が進んでいる。

株式会社 IHI（以下、IHI と称す）は、2013 年 8 月から 20kW 級バイナリー発電装置「ヒートリカバリー（HR シリーズ）」を販売開始しており、すでに温泉や工場での実績を積んでいる。IHI と IHI プラント建設株式会社（以下、IPC と称す）は、

エンジンの排ガスやジャケット冷却水の熱を利用し、より大容量の 100kW 級のバイナリー発電装置について、Verdicorp 社（アメリカ）のタービン発電機と、IHI グループのもつエンジニアリング力を活用し、プラント全体のお客さまへの提案から施工までを実施している⁽¹⁾。当社は、その制御盤と制御ロジックの製作を担当した。

2. エンジン排熱利用のバイナリー発電装置

図 1 にエンジン排熱利用のバイナリー発電装置のフロー概略図を示す。熱源はディーゼルエンジン（出力 5MW）の排ガスである。排ガス温水ボイラで加熱した高温水を、バイナリー発電装置の蒸発器に送り発電する。

*1：制御システム事業部 制御システム部

*2：制御システム事業部 制御システム部 部長

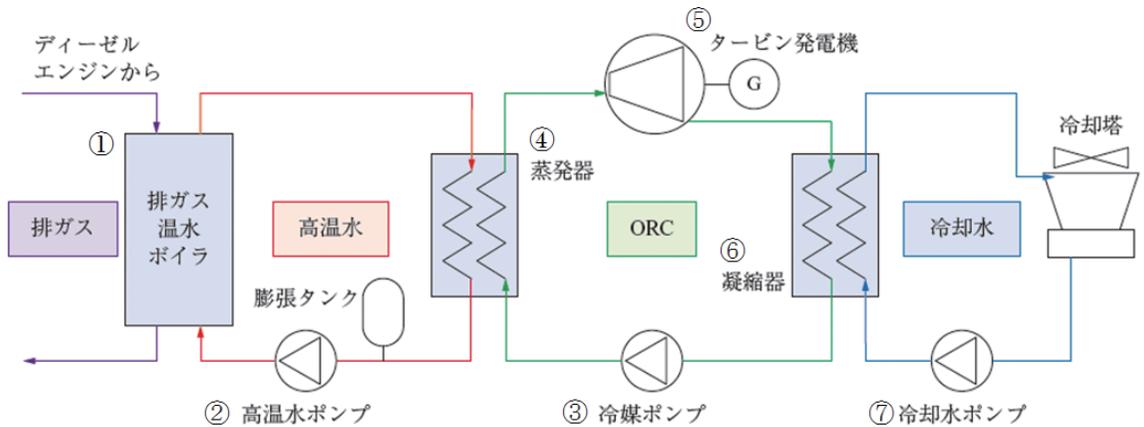


図1 エンジン排熱利用のバイナリー発電装置のフロー概略図⁽¹⁾

2.1 排ガス温水ボイラ

排ガスは①排ガス温水ボイラや、②高温水ポンプなどにより熱回収される。高温水は、ポンプによりボイラに導入され排ガスからの入熱により加熱されたのち、バイナリー発電装置の④蒸発器に導入される。蒸発器を出た高温水は、再びポンプ吸入側に供給され、循環する。

2.2 バイナリー発電装置「Heat Innovator®」

IHIの採用している有機ランキンサイクル「ORC」(Organic Rankine Cycle)は、水と比べて沸点の低い代替フロンやペンタンなどの有機媒体を作動流体としてランキンサイクル(※1)を構成し、高温水からの熱によって蒸発した有機媒体をタービンに導入し、動力を得る手法である。(※2)

ORCは、③冷媒ポンプ、④蒸発器、⑤タービン発電機および、⑥凝縮器から構成される。有機

媒体は、冷媒ポンプにより蒸発器に送られ熱源と熱交換し、冷媒ガスとしてタービンを回転させ発電する。圧力が低下した冷媒ガスは、凝縮器で凝縮した後、再度冷媒ポンプに送られ冷媒ラインを循環する。表1にバイナリー発電装置「Heat Innovator®」の仕様を示す⁽¹⁾。

図2にバイナリー発電装置の外観を示す。バイナリー発電関連機器および動力盤、制御盤、トランスなどは、図3に示すエンクロージャー内にすべて収納されているため省スペース化および現地工事量の削減が可能な構造である⁽²⁾。

※1：ボイラとタービンの間を循環し熱の吸収と放出を行う熱サイクル(加熱、膨張、凝縮、昇圧)をランキンサイクルという。

※2：加熱源系統と媒体系統の二つの熱サイクルを利用して発電する方式をバイナリー(Binary)発電という。

表1 バイナリー発電装置「Heat Innovator®」⁽¹⁾

システム方式	有機ランキンサイクル
発電方法	磁気軸受式1段遠心タービン/永久磁石同期発電機
有機媒体	R245fa(不活性ガス)
熱源温度	80~200℃
最大発電出力	113kW(発電機端)



図2 バイナリー発電装置⁽¹⁾



図3 エンクロージャー⁽¹⁾

2.3 冷却塔

タービン発電機を通して圧力が低下した冷媒ガスは、凝縮器へ送られる。凝縮器には⑦冷却水ポンプから冷却水が供給されており、冷媒は凝縮したのち冷媒ポンプの吸入側へと送られる。

3. 制御システム

図4に制御システム構成を示す。プラント制御システムは、バイナリー発電装置と連携しプラント全体を制御する。コントローラには、IHI および

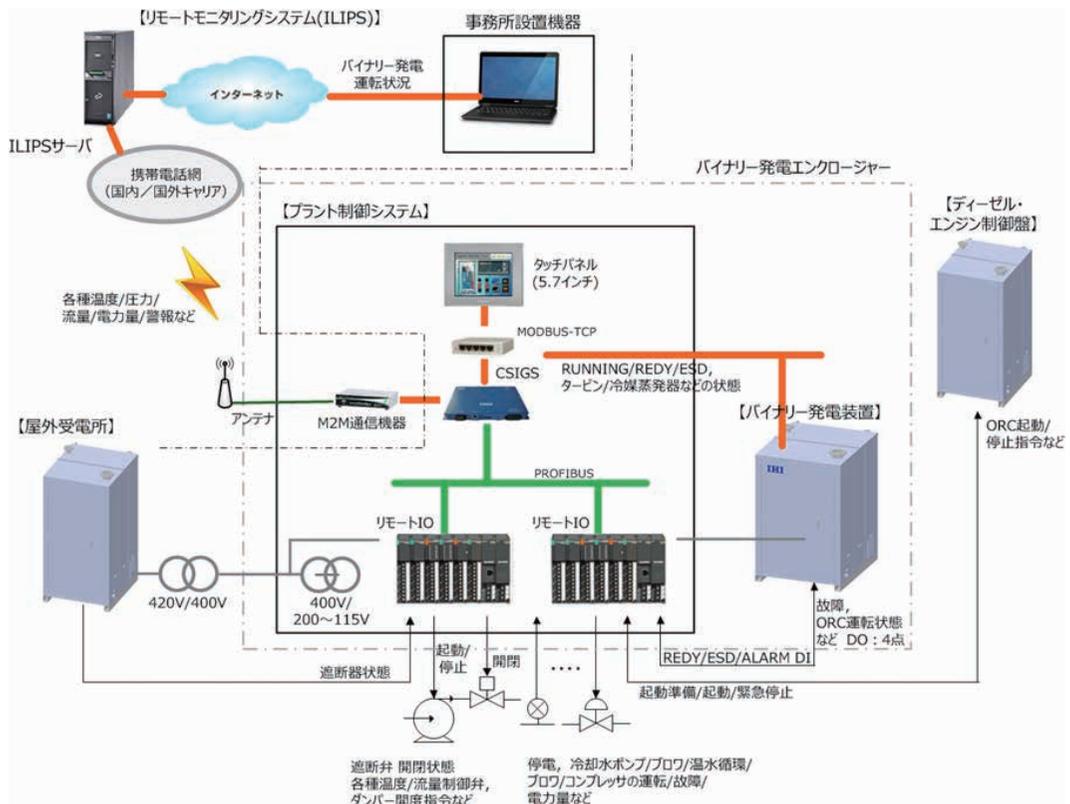


図4 制御システム構成

当社が開発した制御共通プラットフォーム「CSIGS」(Control System of IHI group : Global Series) を使用している。CSIGS は、プラントを構成する各機器・センサーから信号を収集し、装置の起動/停止や流量や圧力を制御する調節弁の開度調整などを行う。また、収集したデータを「ILIPS」(IHI group Lifecycle Partner System) により、携帯電話網を介してサーバに蓄積し、蓄積したデータをインターネットを通じて Web ブラウザでモニタリングすることで、プラントの状態を遠隔地から監視する⁽³⁾。

また、熱源であるディーゼルエンジンの稼働状態を監視し、ディーゼルエンジンの停止時にはバイナリー発電装置を停止させ、ディーゼルエンジンが始動・復帰した場合には自動的にバイナリー発電装置を再始動させる自動起動停止シーケンスを搭載し、ILIPS との組み合わせにより、現場での操作を行うことなくの運転を継続することができる⁽¹⁾。

プラントの制御方法については、IPC が IBD (Interlock Block Diagram) としてまとめ、当社は IBD をもとに制御ロジックを製作した。

3.1 主要な機能

(1) 監視・操作機能

プラント制御システムにタッチパネルを設け、プラントの稼働状態の監視や各機器の操作、パラメータの設定を行うことができる。図 5 に主要な画面イメージを示す。

(2) 制御機能

①自動起動シーケンス

熱源であるディーゼルエンジンの始動、または起動ボタン操作により自動起動シーケンスがスタートする。コンプレッサや図 3 に示すエンクロージャーに格納されている冷却水ポンプ、冷却塔、高温水循環ポンプを起動させ、ディーゼルエンジン始動後一定時間経過後排ガス温水ボイラが起動し (ボイラ制御盤による)、発電を開始する準備を行う。準備完了後、バイナリー発電装置は流入する高温水の温度や流量に応じて最適な冷媒ポンプ回転数、タービン回転数の制御を行い発電する⁽¹⁾。

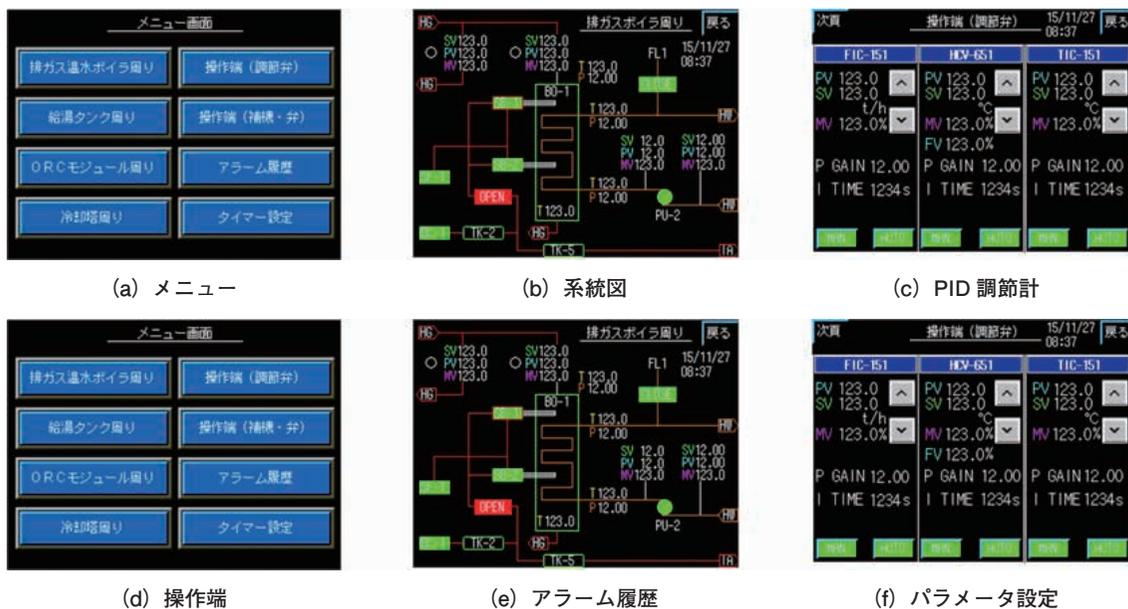


図 5 画面イメージ

② 高温水温度制御

排ガスラインおよびボイラを迂回するバイパスラインにダンパを設け、PID制御(Proportional-Integral-Differential Control)によりダンパの開度を調節することでボイラへの排ガス流量を調整し高温水温度を制御する。図6に排ガス温水ボイラを示す。

③ 自動停止シーケンス

発電中は、ディーゼルエンジンの停止、重大な故障の発生、または停止ボタン操作により自動停止シーケンスがスタートする。バイナリー発電装置を停止させた後、排ガス温水ボイラが停止し(ボイラ制御盤による)、高温水循環ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔を順次停止させる。

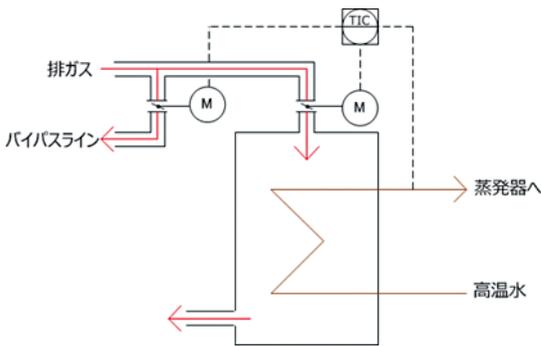


図6 排ガス温水ボイラ

(3) リモートモニタリング (ILIPS)

熱源であるディーゼルエンジンや各装置・センサーの状態を収集し、事務所などの遠隔地から運転状態を把握することができる。また、異常発生時には、関係者にメールで通知することも可能である(図4参照)⁽³⁾。

3.2 シミュレーション

今回、IHI および当社が開発した制御ロジック構築ツール「LD」(Logic Developer)のシミュレーション機能を使用し、CSIGS やランプ/スイッチなどの模擬装置を接続することなく、パソコン上で動作の確認を行った。図7にシミュレータの動作イメージを示す。

制御対象モデルのロジックを作成し、制御対象モデルによって、制御ロジックからの操作指令に対する応答や運転時の圧力や温度の変化を模擬し、パソコン上の共有メモリを介して連携させた。

利点としては、設備やスペースを必要としない点、ランプ/スイッチのシミュレータでは困難である複雑なシーケンスや高速の動作、およびPID制御の応答などの模擬を比較的容易に実現できることが挙げられる。

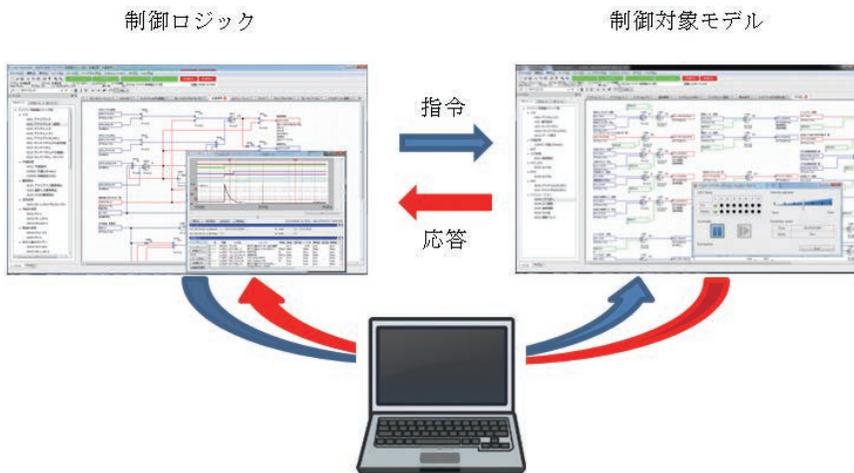


図7 シミュレータの動作イメージ

4. おわりに

バイナリー発電は、発電事業者やエネルギーを消費する工場・プラントに対して、省エネルギーによるコスト競争力向上やCO₂排出量削減といったニーズに応えることができる。また IHI と IPC では、発電機単体販売ではなく、ソリューション／エンジニアリングによる総合サービスとして本装置を提供しており、お客さまのニーズに合わせた排熱回収から発電までをトータルシステムとして提案できるという強みをもつ⁽²⁾。

当社は、これらのニーズに対して最適制御の実現に向けて協力していくとともに他の装置やプラントの制御で IHI グループに貢献していく。

参考文献

- (1) 頼泰弘、柴田成康、和田大輔、三好一雄、秋吉亮:100kW 級中型バイナリー発電装置「Heat Innovator®」によるエンジン排熱の回収、IHI 技報、第 56 巻、第 1 号、2016、pp.47-50
- (2) IHI プラント建設株式会社：“廃熱” から新たな電力を生み出す、IHI 技報、第 55 巻、第 1 号、2015、pp.18-19
- (3) 株式会社 IHI：お客さまの価値を向上させるデータ活用技術、IHI 技報、第 56 巻、第 4 号、2016、pp.10-13



制御システム事業部
制御システム部

川崎 政芳

TEL. 045-523-8315
FAX. 045-523-8320



制御システム事業部
制御システム部
部長

中村 元

TEL. 045-523-8315
FAX. 045-523-8320