

(解説)

# 国内初の内陸型火力発電所（真岡発電所）

藤尾明久\*・山本 晃

## Japan's First Inland Thermal Power Plant (Moka Power Station)

Akihisa FUJIO・Akira YAMAMOTO

### 要旨

真岡発電所は、日本で唯一の内陸型大型火力発電所として、2019年10月に1号機が、2020年3月に2号機が営業運転を開始した。本発電所は、総発電能力約125万kWで、空気冷却式復水器を採用したことも大きな特徴である。発電所建設に際しては、設備機器の分割輸送に始まり、現地製作・組立、周辺環境への最大限の配慮などを行った。内陸立地である点に配慮したこうした数々の技術課題を克服したことによって当初の計画どおりに竣工、運転開始につながった。

### Abstract

The Moka Power Station launched the commercial operation of Unit 1 in October 2019 and Unit 2 in March 2020 as the only large-scale inland thermal power plant in Japan. One of the distinctive features of the station is that it has adopted an air-cooled condenser to generate approximately 1.25 million kW in total. The construction of the power station involved the transportation of disassembled equipment, on-site manufacture and assembly, as well as the maximum consideration for the surrounding environment. After overcoming the many technical issues related to the inland location, the project was completed by the original date planned for the plant to begin operation.

### キーワード

国内初内陸型大型火力発電所、ガスタービン・コンバインドサイクル発電方式、空気冷却式復水器（ACC）、高効率発電、分割輸送、現地製作、現地組立

まえがき＝当社は、製鉄所で長年培った自家発電所での知見を活かし、2002年4月より神戸発電所（総出力140万kW）において電力供給事業を営んできた。そうしたなか、2011年3月11日に発生した東日本大震災によって臨海部に立地している多くの発電所が停止し、計画発電を余儀なくされた状況をまのあたりにした。そこで当社は、東日本地区における電力供給事業の可能性について検討を開始した。

まず発電所の立地として、当社真岡製造所に隣接した工業団地に建設用地を確保できた。この工業団地は各種インフラ（燃料供給、送電線）へのアクセスに恵まれていた。また、初めて経験する多くの技術課題などを乗り越えられたことなど、さまざまな課題に対処することによって内陸大型火力発電所である真岡発電所を開所させることができた。

真岡発電所は内陸立地であることから、電源立地の分散化による電力インフラの強靱（きょうじん）化に資する事業として、国土強靱化（内閣官房）、およびエネルギー基盤の強靱化（経産省）の民間取組事例にも選定され、社会的意義の深い発電所である。現地調査から営業運転に至るまでの真岡発電所に関わるこれまでの主な経緯を表1に示す。

表1 真岡発電所の沿革  
Table 1 History of Moka Power Station

Jul. 2011	On-site investigation (Moka 5th Industrial Park) Started basic study and feasibility study
Jul. 2012	Established project team
Mar. 2013	Started environmental assessment
Mar. 2014	Set basic agreement with Tokyo Gas Co., Ltd.
Apr. 2014	Entered into EPC contract with Fuji Electric Co., Ltd.
Sep. 2014	Concluded power supply contract with Tokyo Gas Co., Ltd.
May. 2016	Completed environmental assessment (38 months)
Jun. 2016	Started on-site construction
Oct. 2019	Started commercial operation of Unit 1
Mar. 2020	Started commercial operation of Unit 2

### 1. 真岡発電所の概要

真岡発電所は、東京ガス株式会社（以下、東京ガスという）から都市ガスの供給を受け、最新鋭のガスタービン・コンバインドサイクル発電方式<sup>注1)</sup>によって総出力約125万kWの発電を行う。発電効率は60%以上という国内最高レベルを有する。発電した電力は全量を東京ガ

脚注1) ガスタービン発電と汽力発電の二つを組み合わせた発電方式。都市ガスを燃焼させてガスタービン発電設備で発電した後、排熱をボイラで回収して蒸気タービン発電設備で発電する複合発電である。従来型のボイラー・タービン発電設備と比べて高い発電効率を得ることができる。

\* 電力事業部門 真岡発電所



図1 真岡発電所全景

Fig.1 Overview of Moka Power Station

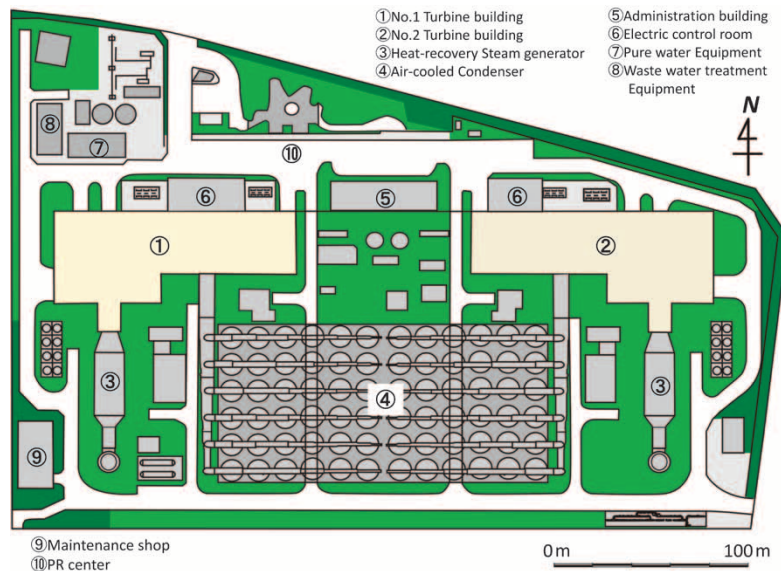


図2 主要施設および設備の全体レイアウト

Fig.2 Layout of main facilities and equipments

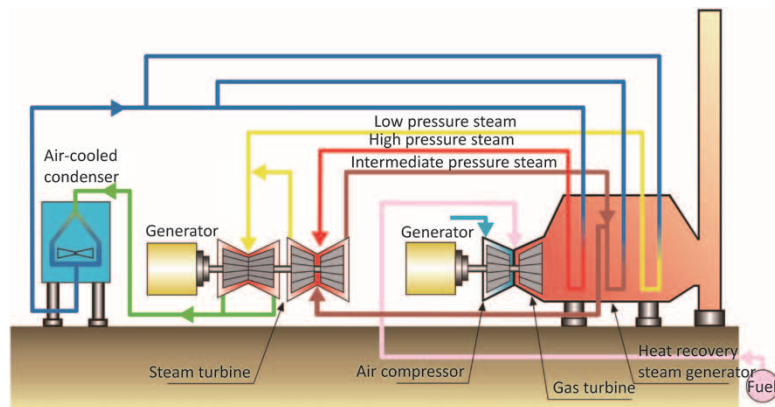


図3 ガスタービン複合サイクルによる発電設備の概念図

Fig.3 Schematics of power generation apparatuses with gas turbine combined cycle

スへ供給する。図1に発電所全景，図2に主要施設および設備の全体レイアウト，図3に発電設備の概念図を示す。

真岡発電所では、EPC 請負契約<sup>注2)</sup>を富士電機株式会社（以下、富士電機という）と締結した。また、主要機器であるガスタービンはシーメンス社の高効率モデルSGT5-8000Hを国内で初めて採用した。

脚注2) 設計(engineering), 調達(procurement), 建設(construction)を含む建設プロジェクトの建設工事請負契約のこと。

## 2. 発電所の開所に向けた検討項目

発電所の建設・開所に向けては、内陸立地であるうえに、敷地北側には住居地区が隣接することから、以下の項目に対して十分留意して詳細な検討を行った。

### 2.1 内陸輸送

当発電設備は海外製作比率が高い。このため、海上輸送される大物設備・資機材の多くは茨城県日立港で荷揚げを行い、真岡発電所までの約100 kmの距離を内陸輸送する必要があった。輸送対象のなかには重量物（最大

160 t) が含まれており、これらは一般道路を使用するの夜間・低速（5～10 km/h）輸送を行うことにした。

また、主要機器であるガスタービンや発電機、変圧器などは完成品の状態で輸送し、現地据付を行うのが一般的である。しかし今回は一般道路を使用するため、道路交通法を順守する必要がある。すなわち、輸送する機器の寸法を制限内（幅3.5 m以下、高さ4.7 m以下、長さ26 m以下）に収める必要があった。このため、主要機器は分割輸送する方向で計画を練った。

さらに、大量の資機材を扱ううえに、細かく分割するが故に機材の点数は膨大となる。このため、建設エリア近傍には広大な資材ヤードに加えて、地組（現地組立）エリアを確保する必要があった。

## 2.2 設備配置計画

発電所においては、タービンを駆動し終えた蒸気を冷却して復水させる方法として、大量の水（海水、工業用水など）によって間接冷却する水冷方式が一般的である。真岡発電所においても工業用水として地下水を使用するが、その地下水の使用量に制限があるため、蒸気の復水に対して水冷方式を採用することができない。この対応策として、大型火力発電所としては国内初となる空気冷却式復水器（Air-Cooled Condenser、以下ACCという）を採用することとした。

発電所建設予定地の広さは9 haであり、120万kW級の火力発電所としては極めてコンパクトである。このため、騒音源や温風源であるACCと敷地境界との距離が短くなる。また住居地区が隣接していることから、周辺環境への最大限の配慮が必要であった。

### (1) 騒音

発電所北側と東側には住居地区が隣接しており、とくに騒音に対しては万全を期す必要があった。発電設備への防音対策に加えて、建屋形状および防音壁の仕様、さらには設備配置までもを含めて検討を行うこととした。

### (2) 温風の影響

ACCは、蒸気タービンを回し終えた蒸気を大気と間接的に熱交換を行って冷却し、蒸気を状態変化させて水に戻す装置である。このため、熱交換に使用された空気は、周辺大気よりも温度の高い温風となってACC上部から排出される。

ACCからの温風に対する影響評価は国内での実施例もほとんどなく、また環境アセスメントの影響評価項目にはなかった。しかしながら周辺への環境配慮の観点から、温風の影響を評価する必要があった。

さらに、ACCからの排気温風が吸込み側へ還流（再循環）すると、常温より高い温度の空気を吸い込むことになり、発電効率が低下する。このため、再循環量を最小化することがプラント性能維持の観点で重要となる。

## 3. 検討結果

### 3.1 内陸輸送

#### (1) 輸送制限に収めるための機器の分割輸送

今回、道路交通法に基づく輸送制限（重量、大きさ）

をクリアするために、ガスタービンはケーシング分割が可能な構造を採用した。シーメンス社のベルリン工場で行った組み立てたガスタービンは、ケーシング、ロータ、翼に分解してそれぞれを別々に輸送した。また、排熱回収ボイラは、伝熱管群を細かく分割するハープ工法を採用した。最大重量物（約160 t）の輸送に際しては、輸送ルート上の橋梁（きょうりょう）すべて（全51箇所）に対して、橋梁強度上問題ないことを検証した。最大重量物の荷姿を図4に示す。

また、内陸輸送の最大工程が8泊9日と想定されていた（実績は6泊7日）ため、沿線に10箇所の仮泊地を準備するなど、緊急時にも配慮した輸送計画を策定した。その結果、計画どおりに輸送を完遂させることができた。

#### (2) 資材ヤード、地組エリアの確保

今回の発電所建設には、発電所敷地（約9 ha）とほぼ同等の資材ヤードが必要となることが分かった。幸い、発電所建設エリアの南側には真岡市所有の土地（約9 ha）があり、工事期間の約4年間、この土地を真岡市より借り受けることができた。これによって地組品や資機材の横持を円滑に行うことができた。

#### (3) 発電機などの現地製作・組立

ガスタービンと同様に、ガスタービン用発電機（出力：470 MVA）についても輸送制限以下への分割を検討した。しかしながら固定子は、分割して輸送することが物理制約上（重量・形状）困難であることが分かった。そこで、固定子は現地で製作することとした。

このクラスの発電機を現地製作するのは国内初の試みであった。現地製作に関してはメーカーである富士電機が有する独自の技術が採用された。ここでは詳細な紹介は差し控えるが、発電機製作工場として先行して2号タービン建屋を建設し、メーカー側で簡易クリーンルームを設置するなどによって現地製作が実現した。

#### (4) 品質管理の徹底

上述のとおり、主要設備や資機材等は分割輸送が主であり、現地組立・溶接比率の高い工事であった。このため、現地工場の品質確保に努めるとともに、各工場内での製品品質を事前に確保し、出荷体制の確認などを徹底した。こうした取り組みによって現地での手直し工事の撲滅を図り、工程順守に努めた。

## 3.2 設備の最適配置計画

騒音や温風が周辺環境に与える影響を最小化する



図4 最大重量物の荷姿

Fig.4 Package of maximum weight component for transportation



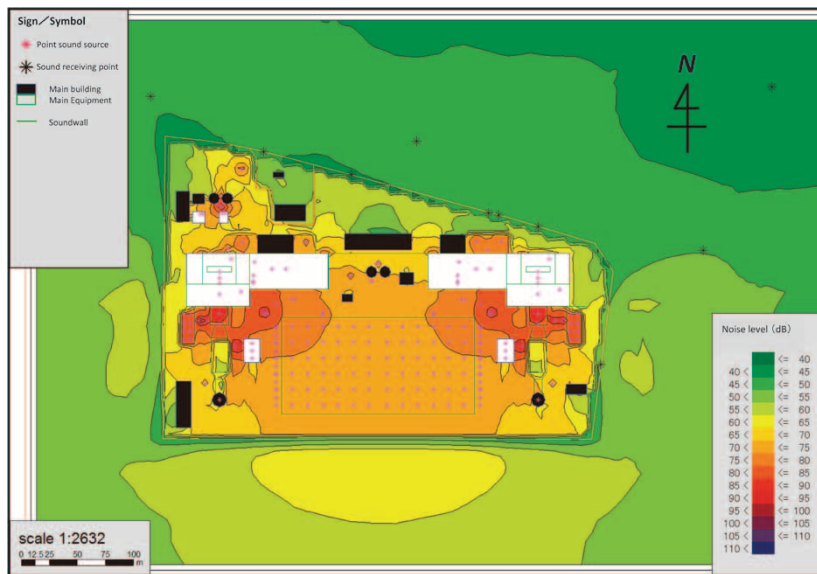


図5 3次元騒音解析例  
Fig.5 Three-dimensional noise analysis

と同時にプラント効率を維持する必要がある。そこで、3次元騒音解析と3次元温風解析を実施した。これらの解析結果に基づき、発電所の主機への防音対策をはじめ、設備配置やタービン建屋の形状、防音対策、敷地周囲の防音壁など、発電所の具体的な防音対策に関する仕様を決定した。

このように、設備計画の早い段階において自社で各種検討を行ったことにより、最適な設備配置計画が策定できた。その結果、環境アセスメントを円滑に推進させることができたうえに、プラント効率を維持させることができた。

#### (1) 騒音評価と対策

通常運転時に市条例の騒音基準を満足するように防音対策を計画し、実施した。なお、防音壁や建屋はデザインに統一感を持たせると同時に、近隣の景観ともマッチするよう配慮した(図1参照)。

騒音解析の一例として、地上1mの高さにおける発電所周辺の音圧レベルを図5に示す。複数のケースで実施した3次元騒音解析のいずれのケースにおいても、発電所北側や東側の住宅地に対して、住宅地の環境基準(昼間60dB、夜間50dB)を満足することを確認した。

#### (2) 温風の影響評価と対策

温風の影響を評価するにあたっては、真岡市の過去の気象実績や環境アセスメントの現況調査結果を踏まえ、当社研究所が発電所の敷地を対象とする3次元温風解析を実施した。発電所の構成機器や建屋形状を反映した熱流動解析モデルを構築し、各種条件での解析を行った。解析結果の一例として、敷地の東西中心位置での南北断面における空気流れの速度ベクトル図(図6)および温度分布図(図7)を示す。

本解析結果から、強い南風の時でも後流側となる敷地北側の住居地域(地上)に与える影響はほとんどないことが確認できた(図6、図7)。また、ACC上部から排出される温風が吸気側へ再循環することによって吸気側の空気温度が上昇していることを示している(図7)。

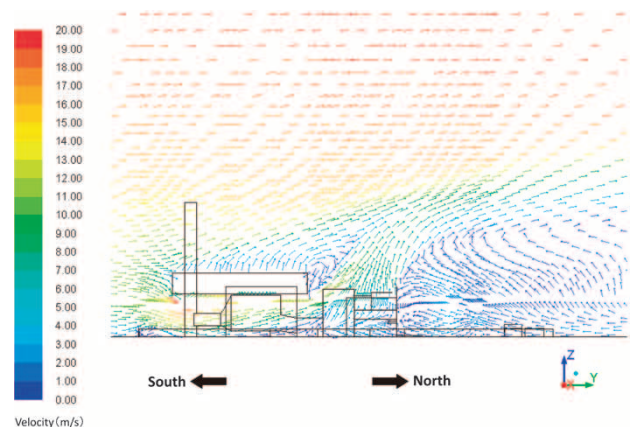


図6 発電所敷地内の空気の流れの速度ベクトル図  
Fig.6 Velocity vector diagram of air flow in power station site

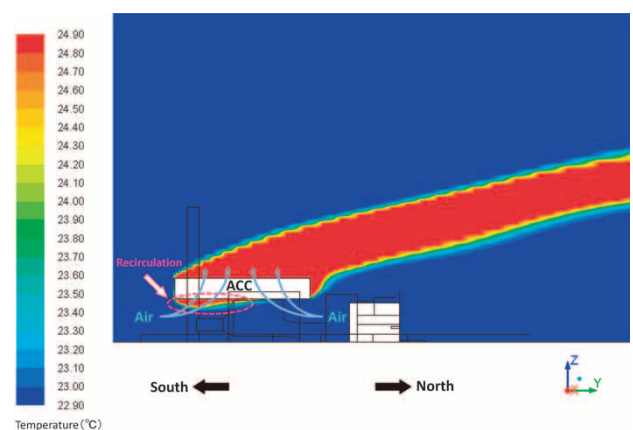


図7 発電所敷地内の温度分布図  
Fig.7 Temperature distribution diagram in power station site

今回、狭い敷地内の建屋レイアウトを工夫することによって吸気側の空気温度上昇を2℃以下に抑制し、性能低下が最小となる最適配置を実現することができた。

むすび=1号ユニットは2019年10月1日に営業運転を開始し、2号ユニットは2020年3月1日に営業運転を開始した。いずれのユニットも現在まで順調に稼働している。

これまで当社が製鉄所の操業を通じて培った自家発電所の知見を基に、真岡発電所の安定稼働に努め、「国土強靱化」に寄与するとともに、国内最高レベルの効率維持に努めることによって地球温暖化抑制に貢献していきたいと考えている。

そのためにも、今後発電所の運転を継続するなかでプラント特性を把握すると同時に、性能改善や操業面での改善に取り組むことによって発電所の価値向上に努める所存である。

また今後、真岡発電所のプラント性能面についてこれまでの技術的な取り組みを報告したい。



藤尾明久  
電力事業部門 真岡発電所



山本 晃  
電力事業部門 真岡発電所