散水消雪設備用省スペース高出力型熱源機（真空式温水機）の開発

八木　秀隆*1　山口　慧祐*2　田仲　寛*3

Development of High-power Heater for Water-sprinkler Snow Melting System

Hidetaka YAGI*1, Keisuke YAMAGUCHI*2 and Hiroshi TANAKA*3

*1 Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group
*2 Section of Facilities, Niigata Branch (previously at Environmental Engineering Research Laboratory)
*3 Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR East Group

Abstract

In order to secure high-speed and stable operation of the Shinkansen in heavy snowfall regions, water-sprinkler snow melting systems are installed in a section totaling 76km along the Joetsu Shinkansen. There are 32 snow melting bases, and heating systems are also installed at 29 of those. In consideration of replacing the existing 16-year-old system in the future, a new heating system has been developed to enable energy saving control.

●***Keywords*:** Control, Energy saving, Snow melting, Efficiency, Stable transportation, Heat engineering

1. 緒言

豪雪地帯における新幹線の高速安定輸送を確保するために、上越新幹線では約76kmの区間で散水消雪を行っている。この区間には消雪基地が32ヵ所あり、そのうち29ヵ所に熱源機が設置されている。散水消雪設備に使用されるエネルギーは莫大であり、冬季のみの稼働にもかかわらず、使用するエネルギーをCO_2排出量に換算すると上越新幹線だけでも灯油のみで約17,000t（2016年度実績）になる。この量は当社の年間CO_2排出量の約0.8%に相当する。また、現在の熱源機は整備から16年が経過しており、今後の設備更新に向けた新型機の開発が望まれている。

そこで、省エネ、環境負荷低減を目的として高効率制御ロジックと省エネ制御が可能な省スペース高出力型熱源機の開発を行った。本稿では、熱源機の開発について報告する。

2. 開発概要

2・1 開発の目的

開発する熱源機は、現在の消雪設備に用いられている中で最大出力（2.3MW）を有する炉筒煙管構造の真空式温水機とした。開発目標を表1に示す。外形寸法の目標値は、更新時における工事の省力化のため、現行機の設置スペースに入れ替え可能な寸法とした。加熱能力や燃焼制御等の目標について、次の節以降に記載する。

表1　開発目標

項目	現行機	目標値
外形寸法（mm）	H×W×D＝1,838×1,524×4,358	現行機寸法＋10%程度
加熱能力（kW）	2,326	現行機比125%（2,907kW）以上
効率	91%	現行機同等
燃焼制御	3位置制御	比例制御
モニタリング機能の追加	なし	熱媒水温度、状態変化等
散水消雪設備制御システムとの連携化	なし	あり

*1JR東日本研究開発センター　環境技術研究所　主幹研究員
*2新潟支社　設備部　旅客設備課（元　環境技術研究所）　*3JR東日本研究開発センター　環境技術研究所　研究員

2・2 熱源機の開発項目

(1) 熱源機の高出力化のメリット

高出力化する最大のメリットは設備台数の削減であり、メンテナンス費用を抑制することができる。高出力化の能力を決めるにあたり、過去の研究において、6項目の前提条件（サイズ、熱源機効率、制御との連携可能、モニタリング機能、開発期間、LCCの削減）について考察・評価した。その結果、2.6～3.5MW（現行機最大出力2.3MWの110～150%）の中で、2.9MWの出力が最適であることから、開発の目標加熱能力を2.9MWと設定した。上越新幹線に設置されている現行機328台を2.9MWの高出力熱源機に置き換えた場合、4割削減することができ、191台となる。これは、消雪基地毎に必要とされる熱量に対して、熱源機1台あたりの出力が上がることにより設置台数が少なくできるためである。

(2) 熱源機燃焼制御の比例制御化

現行機の中で最大出力（2.3MW）を有する熱源機は、1つの消雪基地に多いところで15台設置されている。上位側の制御システムが降雪状況に応じて散水消雪に必要な熱量（熱負荷）を算出し、そこから台数制御の指令値（熱源機の運転台数で小数点第一位までの値）を演算している。一方、熱源機は指令値に応じた運転出力を行うが、熱源機自体でも熱媒水温度をみながら燃焼制御を3位置制御(出力100%-出力50%-OFF)で行っている。台数制御の指令値と3位置制御による熱源機の運転出力を表2に示す。3位置制御では、指令値に対して熱源機の運転出力に余力が生じ、熱負荷に対する追従性に課題があることがわかる。このほか、過去の研究により、燃焼・停止を断続的に行うことにより、パージ損失（停止時に炉内を換気するために生じる損失）及び放熱損失が発生して効率を下げていることが判明していた。そこで、燃焼制御を3位置制御から比例制御に変更することで、熱負荷に対する追従性を向上させるとともに、バーナの高ターンダウン化（最小出力と定格出力の比を広げる）を図り、熱源機1台で対応できる出力幅を広くした。これにより、熱源機の燃焼・停止の頻度を低下させ、放熱損失量等の削減を図った。

表2　台数制御の指令値と3位置制御による熱源機の運転出力

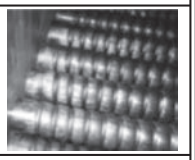
指令値	熱源機の運転出力	余力	出力換算値(kW)
1.0	出力100%(1台)	0	0
1.1～1.5	出力100%(1台)＋出力50%(1台)	0～0.4	0～930
1.6～2.0	出力100%(2台)	0～0.4	0～930

3. 開発機の製作

3・1 開発機の概要

開発機の主な設計値を表3に示す。高出力化のために熱交換器を大型化するほか、煙管群は現行機より細い管径の捩れ管を採用して伝熱面積を大きくした。開発機の試験設備据付外観を図1に示す。

表3　開発機の主な設計値

項目		設計値	項目		設計値
加熱能力(kW)		2,907	火炉	径(mm)	φ850
伝熱面積(m^2)		39.7		有効長さ(mm)	2,590
缶体形式		炉筒煙管		形式	横置きU字管
煙管群	管形式	捩(ねじ)れ管 	熱交換器	伝熱管	φ10×t0.4×128本 千鳥配列(1本当たり)
	管径(mm)	φ50.8		本数(本)	2
	管有効長さ(mm)	2,720		伝熱面積(m^2)	23.1(1本当たり)
	管本数(本)	75			

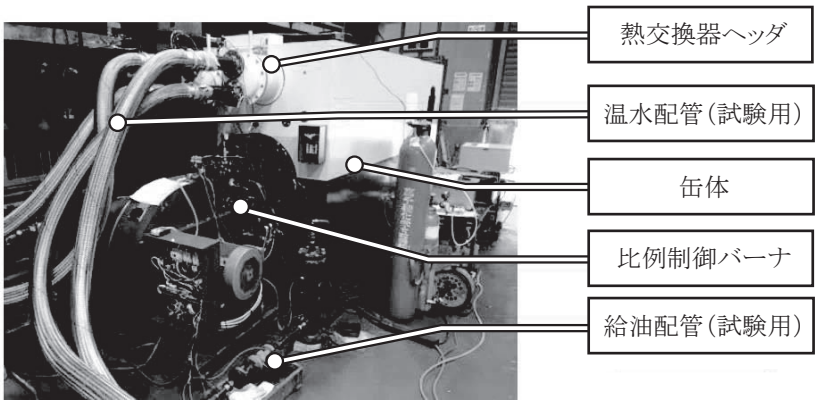


図1　開発機の試験設備据付外観

3・2 開発機の試験

開発機に対して各種試験を実施し、要求性能を満足することを確認した。主な試験項目を記載する。

（1）性能試験

出力毎の熱媒水温度、効率等の主な計測結果を表4に示す。効率はJIS B 8417熱損失法により算出し、放熱損失は実測値とした。定格出力（2,907kW）時の効率は、気温=20.8℃、熱媒水温度=74.9℃、排ガスO_2=3.53%の条件では91.1%となり、目標値を満たす結果が得られた。また、開発機と現行機の効率曲線の比較を図2に示す。定格出力時の効率は現行機と同等であるが、高出力化、比例制御、および高ターンダウン化することで、全ての出力において現行機より効率が向上していることを確認した。

表4　性能試験結果

項目	単位	高燃焼 ←→ 低燃焼					
出力	kW	2,907	2,675	2,326	1,745	1,163	959
（現行比）		（125%）	（115%）	（100%）	（75%）	（50%）	（41%）
負荷率	%	101	92.8	79.8	60.6	39.7	32.7
気温	℃	20.8	21.5	21.4	21.2	20.4	19.2
熱媒水温度	℃	74.9	74.9	74.6	75.0	75.1	75.3
O_2濃度	%	3.53	3.53	3.48	3.46	3.47	3.54
排ガス温度	℃	207.1	198.1	183.5	161.2	133.4	114.6
放熱損失	%	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6
効率	%	91.1	91.5	92.2	93.2	94.2	94.9

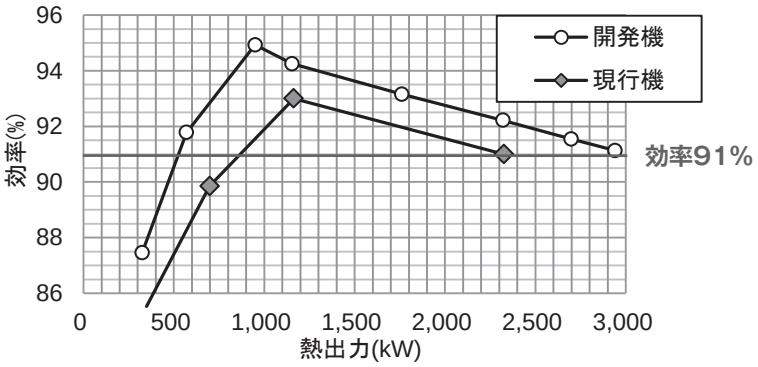


図2　開発機と現行機の効率曲線の比較

(2) 負荷変動試験

負荷の変動に対する燃焼量の追従性を確認するために、負荷変動試験結果を行った。試験結果を図3に示す。熱媒水温度の設定値（80℃）を±2℃の範囲内で維持しながら、負荷変動に対して燃焼量が追従していた。これより、負荷変動時の燃焼性能に問題がないことを確認した。

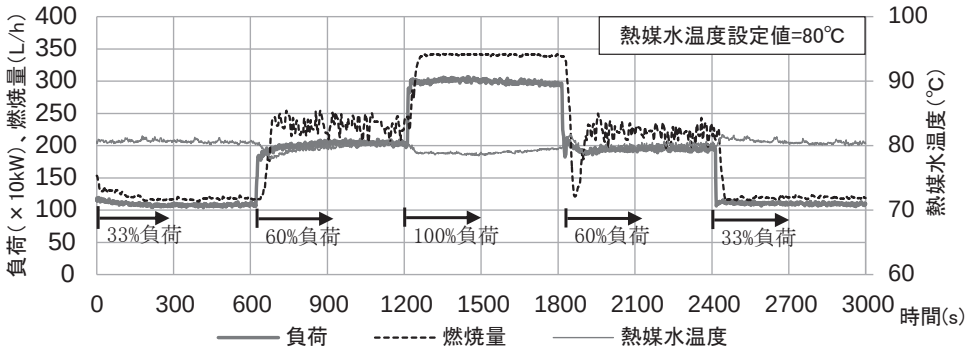


図3　負荷変動試験結果

(3) モニタリング機能の追加および高効率制御ロジックとの連携化

開発機には熱源機の状態情報を用いて上位側の制御ロジックと連携するモニタリング機能を追加した。取得した情報は、次に運転させる熱源機の優先順位の決定のほか、状態監視保全に活用していく。上位側の高効率制御ロジックとの連動試験を実施し、制御ロジックと熱源機の連携に問題がないことを確認した。

3・3 開発機の性能

目標に対する結果を表5に示す。外形寸法の高さが目標値+10%程度に対し+12%となったが、それを除く目標は達成した。現在の消雪基地では、高さと比べて据付面積の制約が大きいため、据付面積の縮小を優先させた結果、高さが+12%となった。この点は、設備更新における搬入等で課題が発生する可能性があるので、製品化の際に縮小することを検討している。また、熱源機に搭載するバーナの高ターンダウン化により、低負荷域まで追従が可能となり、熱負荷の要求に対する追従性の向上と熱源機停止による損失の低減を実現した。今回、現行機のターンダウン比2:1（100%-50%-OFF）に対して、最小出力を定格出力の33%まで高ターンダウン化を行った。

表5　目標に対する結果

項目	現行機〔目標値〕	結果
外形寸法（mm）	H×W×D＝1,838×1,524×4,358 〔現行機寸法＋10%程度〕	H:＋12%　W:＋5%　D:＋9% （H×W×D＝2,055×1,603×4,741）
加熱能力（kW）	2,326kW〔現行機比125%以上〕	125%（2,907 kW）
効率	91%〔現行機同等〕	91%
燃焼制御	3位置制御〔比例制御〕	比例制御（ターンダウン比3:1）
モニタリング機能の追加	なし〔熱媒水温度、状態変化等〕	熱媒水温度、状態変化等
散水消雪設備制御との連携化	なし〔あり〕	あり

4. 結言

今回、省エネ、環境負荷低減を目的として省スペース高出力型熱源機の開発を行った。高出力化や省エネ制御機能等の機能向上に加えて、設備更新における工事の省力化を考慮し、現行機の設置スペースに入れ替え可能な外形寸法とした。主な変更点は、高出力化に伴う熱交換器の大容量化や燃焼制御の比例制御化、バーナの高ターンダウン化、モニタリング機能の追加である。導入に際しては、モニタリング機能の内容を精査し、故障予知情報等の熱源機の状態情報を用いた状態監視保全によるメンテナンスの省力化も検討していく。