

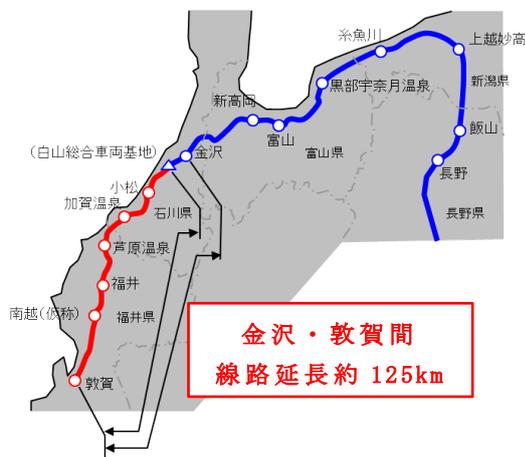
# 分岐器急速除雪装置の温水ジェットノズル最適化

鉄道技術センター 設備部 設備企画課 機械企画グループ 内海 友介

## 1. はじめに

北陸新幹線（金沢・敦賀間）は、線路延長約125kmの路線であり、2024年3月16日に開業を迎えた。降雪地域を走行するため、冬季安定運行の確保を目的として雪害対策設備が必要であり、分岐器部では車両からの落雪による分岐器不転換対策として、分岐器急速除雪装置（以下「温水ジェット」という。）を設置している。

本稿では、金沢・敦賀間向けの最適な温水ジェットノズルの性能確認試験から一部改良に至るまでの最適化について報告する。



## 2. 温水ジェットノズル最適化の経緯

北陸新幹線（金沢・敦賀間）雪害対策委員会において、新幹線車両からの落雪対策が課題であった。その対策の一つとして、車両着雪を減らすために散水消雪区間の延長が検討されたが、最終的に温水ジェットの能力を強化することで冬季安定運行を確保する方針となった。既開業区間（長野・金沢間）の温水ジェットにおいて、分岐器の不転換事象は発生していない



写真-1 残雪

が、既存ノズルの噴射能力検証時にレール腹部への若干の残雪（写真-1）が確認されたことから、不転換リスクを解消するため、温水ジェットノズル最適化による除去能力の強化を行うこととした。

## 3. 改良ジェットノズルの採用

### 3-1 検討対象ノズル

既存の設備（噴射ポンプ、加熱機、貯湯槽）の仕様、噴射水量(240l/min)などの条件は変更せず、豪雪地帯を走る鉄道で使用実績のある4種類のノズル（写真-2及び表-1）を検討対象とし、各ノズルの性能確認試験を実施した。なお、クロッシング部については、AノズルとBノズルの2種類のみを使用して試験した。

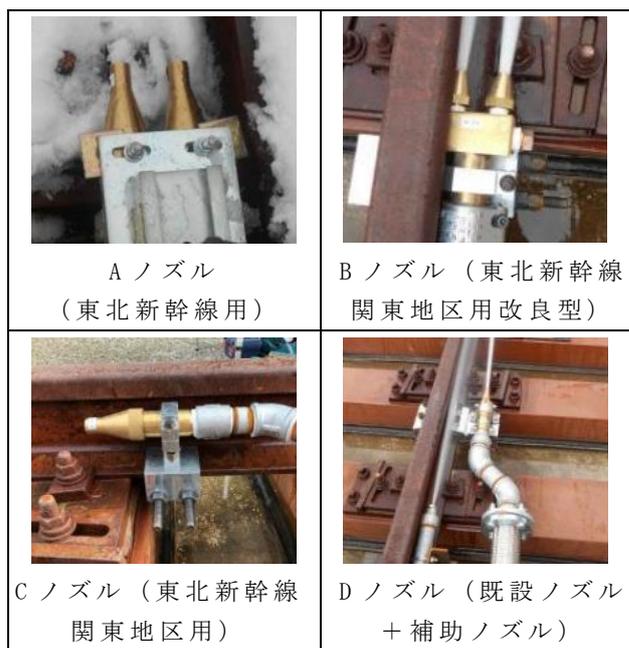


表-1 検証対象ノズルの仕様

ノズル名称	水量 (L/min)	圧力 (MPa)	ノズル本数
A	240	0.74	2
B	240	0.60	2
C	240	0.65	1
D	240	0.74	2

### 3-2 性能確認試験

ポイント部とクロッシング部の各々で、表-2の4段階の性能確認試験を経て、最も雪氷除去能力の高いノズルを採用した。なお、Step2及び3の試験は、西日本旅客鉄道株式会社・金沢総合訓練センターの訓練用分岐器で実施した。

表-2 ノズル性能確認試験

Step	試験内容
1	本線既設ノズルの推力測定 (推力目標値決定)
2	ひずみゲージを用いた各ノズルの噴射 推力測定
3	目標値を満足したノズルによる雪氷への 噴射試験
4	本線での雪氷除去試験

### 3-3 試験方法

#### (1) 推力測定器

雪氷除去能力を測る試験器具として、推力測定器を使用した(写真-3)。推力測定器には歪ゲージが内蔵されており、高さ50mm、幅30mmの受圧板に水が当たると、推力(N)が1秒間に50回出力される。



写真-3 推力測定器

#### (2) 推力測定位置

推力の測定位置について、ポイント部はトングレー先端から0.5m及び8.5m、クロッシング部は可動ノズレール先端から0.5m及び2.0mの位置とした。また、分岐の定位側と反位側の両方で測定を実施した。

図-2はポイント部の断面図であるが、ジェット指向性を確認するため、同じ位置で推力測定器を上下左右にずらして測定を行った。

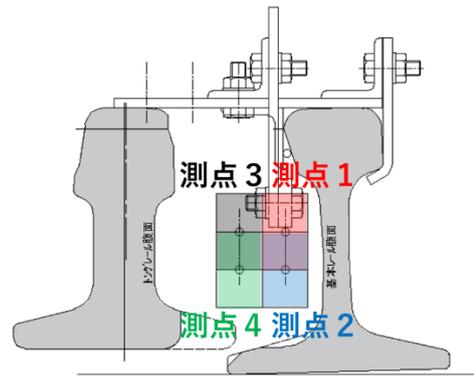


図-2 推力測定器の設置位置

### 3-4 試験結果

#### (1) Step1\_本線既設ノズルの推力測定

3-3で述べた試験方法により、本線既設ノズルの推力を測定し、「推力目標値2.10N以上、推力下限値1.22N以上」を決定した。

#### (2) Step2\_各ノズルの噴射推力測定

3-1で選定した4種類のノズルの推力測定を実施した。各々の位置全てにおいて、Step1の目標値(2.10N以上)を満足することが、Step3へ進むための必要条件である。

ポイント部の試験結果は表-3のとおりであり、Aノズルと比較的数値の良いCノズルを合格とした。また、クロッシング部は表-4のとおり、Bノズルを合格としてStep3へ進めた。

表-3 推力測定結果(ポイント部)

位置	測点	Aノズル		Bノズル		Cノズル		Dノズル	
		定位	反位	定位	反位	定位	反位	定位	反位
0.5m	1	53.5	6.0	10.8	24.0	44.5	1.3	15.2	21.0
	2	47.9	3.6	8.3	12.9	33.8	1.9	16.9	6.6
	3	12.2	34.7	8.0	10.8	100.7	49.2	121.7	30.1
	4	14.0	13.8	10.4	9.2	70.4	63.4	19.9	7.7
8.5m	1	3.3	3.0	0.3	0.5	2.4	3.9	1.8	1.3
	2	5.2	5.9	0.3	0.7	4.1	4.8	2.5	1.9
	3	2.2	3.1	0.2	0.5	2.2	3.0	2.2	2.2
	4	3.9	7.5	0.2	0.8	4.6	4.3	3.2	3.3

■ 推力目標値をクリアした試番

表-4 推力測定結果(クロッシング部)

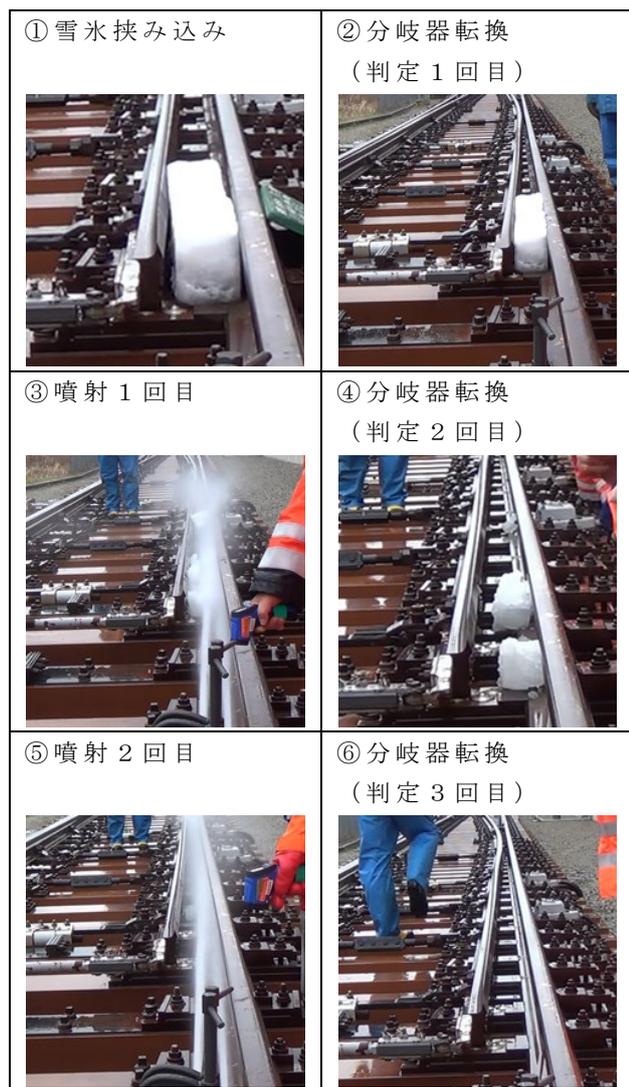
位置	測点	Aノズル		Bノズル	
		定位	反位	定位	反位
0.5m	1	0.9	44.9	14.6	16.7
	2	1.4	21.6	10.5	16.1
	3	3.0	44.0	20.6	14.0
	4	2.7	13.4	13.4	12.5
2.0m	1	4.0	31.3	15.3	10.8
	2	3.3	44.9	14.9	10.1
	3	6.8	32.3	9.7	8.3
	4	5.2	31.5	12.4	9.9

#### (3) Step3\_雪氷への噴射試験

Step2で合格したノズルを用いて、雪氷を挟み込んだ分岐器に対して噴射を行い、最も不転換解消に効果があるノズルを選定した。試験に使用した雪氷は、鉄道総研・塩沢雪害防止実験

所で製作した。雪密度は実際に落下している雪氷と同じ  $0.8\text{g/cm}^3$  とし、雪氷の寸法はポイントに挟まる最大寸法として  $1000\text{mm} \times 125\text{mm} \times 155\text{mm}$  とした。

雪氷への噴射試験の流れは、写真－４のとおりである。①雪氷挟み込み、②分岐器転換、③噴射 1 回目、④分岐器転換、⑤噴射 2 回目、⑥分岐器転換の順で試験を行い、実際の運用と同じ噴射 2 回以内で分岐器を転換させることができるノズルを確認した。



写真－４ 雪氷への噴射試験

ポイント部での試験結果を表－５に示す。Aノズルは全ての試験において噴射 2 回以内で分岐器を転換させることができたため、合格とした。一方、Cノズルは雪氷を 0.5m の位置に設置した場合で一度も転換させることができなかった。また、クロッシング部は B ノズルを合格とし、Step 4 へ進めた（表－６）。

表－５ 雪氷への噴射試験結果（ポイント部）

ノズル	方向	雪氷位置	1回目			2回目			3回目		
			①	②	③	①	②	③	①	②	③
			転換	噴射 1回	噴射 2回	転換	噴射 1回	噴射 2回	転換	噴射 1回	噴射 2回
A	定位	0.5m	×	×	○	×	×	○	×	×	○
		8.5m	×	○	—	×	○	—	×	○	—
	反位	0.5m	×	×	○	×	×	○	×	×	○
		8.5m	○	—	—	○	—	—	○	—	—
C	定位	0.5m	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		8.5m	×	○	—	○	—	—	○	—	—
	反位	0.5m	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		8.5m	×	○	—	○	—	—	○	—	—

【凡例】○：転換可能 ×：不転換 —：未実施

表－６ 雪氷への噴射試験結果（クロッシング部）

ノズル	方向	雪氷位置	1回目			2回目			3回目		
			①	②	③	①	②	③	①	②	③
			転換	噴射 1回	噴射 2回	転換	噴射 1回	噴射 2回	転換	噴射 1回	噴射 2回
B	定位	0.5m	×	○	—	×	×	○	×	○	—
		2.0m	×	○	—	×	○	—	×	○	—
	反位	0.5m	×	×	○	×	×	○	×	×	○
		2.0m	×	○	—	×	○	—	×	○	—

#### （４）Step 4\_本線での雪氷除去試験

Step 3 で合格したノズルを用いて、富山駅の本線ポイント部で、Step 3 と同様の雪氷除去試験を実施した。

試験の結果、噴射 2 回以内で分岐器を転換させることができ、ポイント部は A ノズルを、クロッシング部は B ノズルを、金沢・敦賀間のノズルとして採用を決定した。

## ４．ノズル改良による施工性・保守性の向上

### ４－１ ノズルの改良点

#### （１）角度調整機能の省略

ノズルの改良点は主に 2 つあり、1 つ目はノズルの角度調整機能の省略である。従来（写真－４左）は、ノズル周囲のねじを調整することで、ノズルを最大 10 度傾けることが可能であった。今回、ツインノズル化により、広範囲に噴射することが可能となったため、ノズルの角度調整機能を省略することができた。



写真－４ 新旧ノズル比較（左：旧、右：新）

(2) シンプルな固定架台へ変更

変更点2つ目は、固定架台の形状変更である。従来の架台(図-3左)は、様々な断面形状のレールに取り付けができるように、複数の部材で構成されており、1つのノズルを固定するために、16本のボルトを必要としていた。一方、ツインノズルの固定架台はシンプルな構造に改良したことで、固定に要するボルト本数を3本に減らすことができた。

改良後の架台(図-3右)は、JIS E3014の鉄道信号保安部品の振動試験(4種)により、耐久性に問題がないことを確認した。

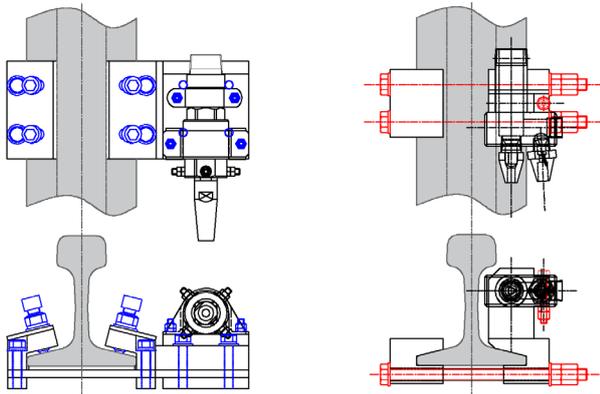


図-3 新旧架台比較(左:旧、右:新)

4-2 施工性・保守性の向上

(1) 施工性の向上

ノズルはレールに固定するため、必然的に下部限界に近接した位置となり、ノズルと下部限界の離隔は設計上8mmである(図-4)。このようなミリ単位の施工を求められるものであるが、先述したシンプルな固定架台に変更したことで、金沢・敦賀間のノズル124箇所を短期間かつ高精度で設置することができた。

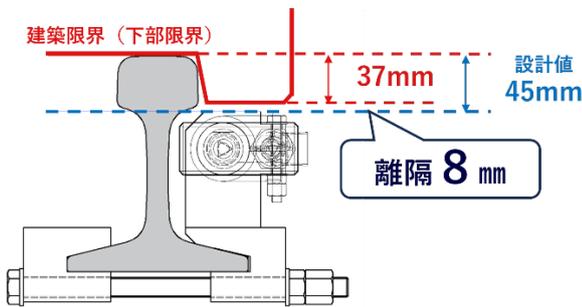


図-4 建築限界とノズルの位置関係

(2) 保守性の向上

従来、軌道部門による分岐器のレール交換の度に、ノズルの取外し・取付け・角度調整が必要であった。今回、角度調整が不要なツインノズルの採用と、架台をシンプルな構造に変更し

たことで、制約のある作業時間帯での作業省力化による時間短縮と調整のばらつきが解消でき、コスト削減・メンテナンス性向上・品質向上を同時に実現できた。

5. カーボンニュートラル効果

北陸新幹線(金沢・敦賀間)雪害対策委員会において、新幹線車両からの落雪対策として散水消雪区間の延長が検討された。水源の確保が困難との見解から、その方策は実現困難と整理されたが、仮に金沢・敦賀間の明かり区間68.5km全てを散水した場合の、エネルギー消費量とCO<sub>2</sub>発生量を試算する。

水源水量が少ない地域では、加熱循環消雪基地と呼ばれる、灯油やガスを熱源として温水を高架上に送る基地が必要となる(写真-5)。

加熱循環消雪基地を前提として、68.5kmを散水する場合、年間335tものCO<sub>2</sub>が発生する試算結果となった。今回、温水ジェットの改良が成功したことで、散水消雪区間延長が不要となり、カーボンニュートラルに大きく寄与することができた(表-7)。



写真-5 加熱循環消雪基地

表-7 カーボンニュートラル効果

削減散水延長	68.5km
年間灯油消費見込量	331kL
年間電気使用見込量	2,752kWh
年間CO <sub>2</sub> 発生見込量	335t-CO <sub>2</sub>

6. まとめ

西日本旅客鉄道株式会社様のご協力の下、各種試験を実施し、豪雪地帯で使用実績のあるノ

ズルの中から最適なものを決定できた。

これにより、課題であった分岐器急速除雪装置としての能力強化が実現し、冬期の安全安定運行の確保に貢献できた。さらには、ノズルの一部改良により、施工性・保守性の向上、また、散水区間を延長しないことによるカーボンニュートラル効果も得られた。

今冬期が北陸新幹線（金沢・敦賀間）の開業後初めての本運用となるため、改良した温水ジェットの効果が最大限発揮されることを期待する。

