

【 資 料 編 】

目次

I. 熱源システム延長・SCOP 早見表	
1. 融雪能力ー採熱規模早見表.....	I-1
II. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果	
1. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果.....	II-1
III. 導入検討例	
1. 導入検討例.....	III-1
IV. 実証外地域における総費用試算例	
1. 実証外地域における総費用（年換算値）試算例.....	IV-1
V. B-DASH プロジェクト実証研究結果	
1. 研究概要	V-1
1.1. 実証研究位置.....	V-1
1.2. システム概要.....	V-1
1.3. 施設諸元.....	V-2
2. 研究成果	V-7
2.1. 運転状況.....	V-7
2.2. 採熱性能の評価.....	V-8
2.3. 放熱性能の評価.....	V-9
2.4. 片押し対向流方式の評価.....	V-10
2.5. 遅い熱源水流速の評価.....	V-10
2.6. 事業性評価	V-12
2.7. 骨材産地別の舗装熱伝導率.....	V-13
2.8. COP10 以上を達成するシステム構成の研究.....	V-17
3. 実証研究成果まとめ.....	V-17
VI. その他（問い合わせ先）	
その他（問い合わせ先）	VI-1

I. 熱源システム延長・SCOP 早見表

1. 融雪能力－採熱規模早見表

本節では、本文で示した熱源システム延長、SCOP の計算方法に基づき、表 I-1 の代表的な利用側条件と熱源側条件から熱源システム延長と SCOP を確認できる早見表を添付する。

早見表は可否判断および下水管路延長算定の目安として活用することを目的としており、正確には現地調査による下水温度・水深・管路状況・周辺状況の確認および詳細設計が必要である。また、融雪面積 150m²等の条件値そのものが表中に無い場合は、近似条件 2 値から目安を算定する。

表 I-1 融雪能力－採熱規模早見表_試算条件

検討パラメータ		条件	備考
熱源側	管径	φ1000、φ1500、φ2000	
	下水水深	8 ユニット単位で採熱管が配置可能な水深※目安 15%	図 I-1 および表 I-2 参照
	下水温度	7.5℃、10℃、12℃	
	採熱延長試算	本編 P.55 式 4-21 により算定	
熱利用側	単位面積当たり放熱量	100、150、200W/m ²	
	融雪対象面積	100、200、300、400m ²	
	パネル側循環流量	0.8 L/min/m ²	
	放熱パネル総括熱伝達係数	21 W/(m ² ℃)	実証研究成果より
	路面温度条件	0℃	
熱輸送	熱輸送距離	100m	採熱部からの放熱部までの距離約 50m
	熱輸送管径	流速 2.0m/s 以下となる管径	例：φ50、75 など
	配管摩擦損失水頭	本編 P.57～P.58 式 4-28～式 4-30 により算定	

注 1) 下水水深はガイドライン本編 P.14 の考え方を参考に目安水深を設定している。

注 2) 早見表中の採熱延長は採熱管の有効延長であり、設計においては上流、下流それぞれで採熱管本数×0.15m ずつのヘッダー延長を確保する必要がある（例：24 本の場合、24×0.15＝3.6m）。

注 3) 配管設計後、採熱管および放熱管の最低流速および最高流速を確認し、使用する配管口径の適用範囲内であるか確認すること。

注 4) 条件と合致しない箇所を活用を検討したい場合は、問い合わせ先に相談すること。

下水管内径（mm）と下水最低水深（mm）と採熱管本数の関係を図 I-1 および表 I-2 に示す。

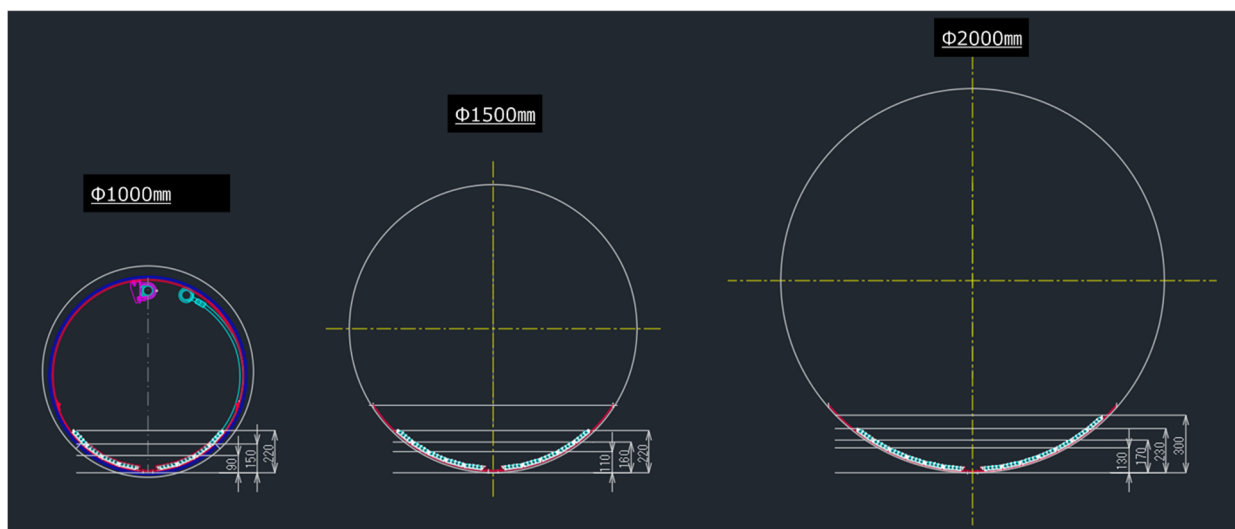


図 I-1 下水管内径および下水水深と採熱管本数の関係図

表 I-2 下水管内径および下水水深と採熱管本数の関係表

管内径	水深		採熱管本数
	mm	%	
1000	90	9.0	16
	150	15.0	24
	220	22.0	32
1500	110	7.3	24
	160	10.7	32
	220	14.7	40
2000	130	6.5	32
	170	8.5	40
	230	11.5	48
	300	15.0	56

(1)100W/m²想定(新潟市等)の早見表※熱源水 放熱管往き温度 5.8℃

融雪負荷(kW) →		有効採熱管延長(m)												
		10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	
必要熱量 100W/m ²		7.5												
必要熱量 100W/m ²		12												
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)											
			100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
φ1000	90	16	55.1	110.1	165.2	220.3	27.1	54.1	81.2	108.2	19.3	38.7	58.0	77.3
	150	24	36.7	73.4	110.1	146.9	18.0	36.1	54.1	72.1	12.9	25.8	38.7	51.5
	220	32	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
φ1500	110	24	36.7	73.4	110.1	146.9	18.0	36.1	54.1	72.1	12.9	25.8	38.7	51.5
	160	32	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
	220	40	22.0	44.1	66.1	88.1	10.8	21.6	32.5	43.3	7.7	15.5	23.2	30.9
φ2000	130	32	27.5	55.1	82.6	110.1	13.5	27.1	40.6	54.1	9.7	19.3	29.0	38.7
	170	40	22.0	44.1	66.1	88.1	10.8	21.6	32.5	43.3	7.7	15.5	23.2	30.9
	230	48	18.4	36.7	55.1	73.4	9.0	18.0	27.1	36.1	6.4	12.9	19.3	25.8
	300	56	15.7	31.5	47.2	62.9	7.7	15.5	23.2	30.9	5.5	11.0	16.6	22.1

融雪負荷(kW) →		SCOP												
		10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	10 kW	20 kW	30 kW	40 kW	
必要熱量 100W/m ²		7.5												
必要熱量 100W/m ²		12												
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)											
			100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
φ1000	90	16	13.3	9.1	4.0	5.3	13.3	9.1	9.1	5.3	13.3	9.1	9.1	5.3
	150	24	13.3	13.3	5.5	5.3	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	8.1	7.3
	220	32	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
φ1500	110	24	13.3	13.3	5.5	5.3	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	8.1	7.3
	160	32	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
	220	40	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
φ2000	130	32	13.3	13.3	8.1	7.3	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
	170	40	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
	230	48	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8
	300	56	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8	13.3	13.3	8.1	10.8

黒字	適用範囲 SCOP≧10
緑字	準適用範囲 SCOP<10
グレー	適用不可 ※必要熱量<採熱可能量
黒	適用不可 ※下水温度<必要循環水温度

(2)150W/m²想定 (青森市等) の早見表※熱源水 放熱管行き温度 8.71℃

		有効採熱管延長(m)											
融雪負荷(kW) →		15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW
必要熱量 150W/m ²		下水温度(℃)											
		7.5						10					
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	融雪面積(m ²)											
		100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
Φ1000	90					84.1	168.3	252.4	336.5	44.4	88.8	133.3	177.7
	150					56.1	112.2	168.3	224.3	29.6	59.2	88.8	118.5
	220					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
Φ1500	110					56.1	112.2	168.3	224.3	29.6	59.2	88.8	118.5
	160					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
	220					33.7	67.3	101.0	134.6	17.8	35.5	53.3	71.1
Φ2000	130					42.1	84.1	126.2	168.3	22.2	44.4	66.6	88.8
	170					33.7	67.3	101.0	134.6	17.8	35.5	53.3	71.1
	230					28.0	56.1	84.1	112.2	14.8	29.6	44.4	59.2
	300					24.0	48.1	72.1	96.1	12.7	25.4	38.1	50.8

		SCOP											
融雪負荷(kW) →		15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW	15 kW	30 kW	45 kW	60 kW
必要熱量 150W/m ²		下水温度(℃)											
		7.5						10					
管径 (mm)	下水最低水深(mm)	融雪面積(m ²)											
		100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
Φ1000	90					20.0	8.1	6.0	8.0	20.0	13.6	6.0	8.0
	150					20.0	13.6	8.2	8.0	20.0	20.0	12.2	8.0
	220					20.0	20.0	12.2	10.9	20.0	20.0	12.2	10.9
Φ1500	110					20.0	13.6	8.2	8.0	20.0	20.0	12.2	8.0
	160					20.0	20.0	12.2	10.9	20.0	20.0	12.2	10.9
	220					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
Φ2000	130					20.0	20.0	12.2	10.9	20.0	20.0	12.2	10.9
	170					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
	230					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2
	300					20.0	20.0	12.2	16.2	20.0	20.0	12.2	16.2

黒字	適用範囲 SCOP ≥ 10
緑字	準適用範囲 SCOP < 10
グレー	適用不可 ※必要熱量 < 採熱可能量
黒	適用不可 ※下水温度 < 必要循環水温度

(3)200W/m²想定 (札幌市等) の早見表 熱源水 放熱管行き温度 11.61℃

融雪負荷(kW) →		有効採熱管延長(m)											
		7.5						12					
		20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW
必要熱量 200W/m ²		下水温度(℃)											
管径 (mm)		融雪面積(m ²)											
下水最低水深(mm)		100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
採熱管本数 (本)		90	16							179.0	357.9	536.9	715.8
Φ1000		150	24							119.3	238.6	357.9	477.2
		220	32							89.5	179.0	268.4	357.9
Φ1500		110	24							119.3	238.6	357.9	477.2
		160	32							89.5	179.0	268.4	357.9
		220	40							71.6	143.2	214.8	286.3
		130	32							89.5	179.0	268.4	357.9
Φ2000		170	40							71.6	143.2	214.8	286.3
		230	48							59.7	119.3	179.0	238.6
		300	56							51.1	102.3	153.4	204.5

融雪負荷(kW) →		SCOP											
		7.5						12					
		20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW	20 kW	40 kW	60 kW	80 kW
必要熱量 200W/m ²		下水温度(℃)											
管径 (mm)		融雪面積(m ²)											
下水最低水深(mm)		100	200	300	400	100	200	300	400	100	200	300	400
採熱管本数 (本)		90	16							26.7	7.3	8.0	10.7
Φ1000		150	24							26.7	18.2	8.0	10.7
		220	32							26.7	18.2	10.9	10.7
Φ1500		110	24							26.7	18.2	8.0	10.7
		160	32							26.7	18.2	10.9	10.7
		220	40							26.7	26.7	16.2	14.5
		130	32							26.7	18.2	10.9	10.7
Φ2000		170	40							26.7	26.7	16.2	14.5
		230	48							26.7	26.7	16.2	14.5
		300	56							26.7	26.7	16.2	21.6

黒字	適用範囲 SCOP ≥ 10
緑字	準適用範囲 SCOP < 10
グレー	適用不可 ※必要熱量 > 採熱可能量
黒	適用不可 ※下水温度 < 必要循環水温度

II. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果

1. 骨材種類別・舗装熱伝導率試験結果

高熱性能舗装の例として作成した舗装コンクリートサンプルの曲げ強度および熱伝導率の測定結果を表 II-1、高熱性能骨材の配合割合を表 II-2 に示す。また、詳細データとして配合設計例を次ページから示す。

表 II-1 骨材種類別の舗装コンクリート曲げ強度および熱伝導率測定結果

No.	配合仕様・骨材等	曲げ強度[N/mm ²]						熱伝導率 [W/m ² C] (円板熱流計法)	
		材齢1日目 [現場養生]		材齢3日目 [標準養生]		材齢7日目 [標準養生]		測定値	平均値
		測定値	平均値	測定値	平均値	測定値	平均値		
No.1	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]三河産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+三河産珪砂(S2)	4.95	5.21	6.93	6.85	8.34	7.93	2.895	2.57
		5.10		6.72		7.62		2.522	
		5.58		6.90		7.83		2.306	
No.2	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]いわき産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+いわき産珪砂(S2)	5.46	5.39	7.59	7.97	8.76	9.04	2.285	2.20
		4.83		8.10		9.00		2.14	
		5.88		8.22		9.36		2.176	
No.3	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)	5.40	5.23	8.13	7.96	7.29	7.98	2.648	2.52
		4.86		8.13		8.37		2.251	
		5.43		7.62		8.28		2.676	
No.4	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]福井産珪砂(S2)	5.43	5.61	9.00	8.88	10.2	9.99	2.455	2.71
		5.73		8.58		10.3		2.866	
		5.67		9.06		9.48		2.803	
No.5	曲げ4.5-18-20H [粗骨材]福井産珪石 [細骨材]福井産珪砂	5.84	6.1	6.90	6.59	7.61	7.95	2.453	2.48
		6.16		6.20		7.49		2.381	
		6.29		6.66		8.74		2.595	

表 II-2 骨材種類別舗装コンクリートの高熱性能骨材配合割合

No.	配合仕様・骨材等	水セメント比 (%)	標準配合中の 骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導細骨材 重量割合(%)	標準配合中の 高熱伝導粗骨材 重量割合(%)
No.1	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]三河産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+三河産珪砂(S2)	37.8	72.8	54.2	18.7	35.6
No.2	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]いわき産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)+いわき産珪砂(S2)	37.8	72.7	55.3	17.2	38.2
No.3	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]新潟産砂(S1)	37.8	72.8	35.7	0.0	35.7
No.4	曲げ4.5-18-25H [粗骨材]青森産珪石 [細骨材]福井産珪砂(S2)	37.8	72.8	72.8	37.3	35.6
No.5	曲げ4.5-18-20H [粗骨材]福井産珪石 [細骨材]福井産珪砂	37.8	72.7	72.7	34.8	37.9

注1) 曲げ強度は、コンクリート舗装の基準値 4.4MPa 以上と比較する。

注2) コンクリート舗装は、融雪用の放熱管とコンクリートの定着性を上げるため、人力打設を基本とする。



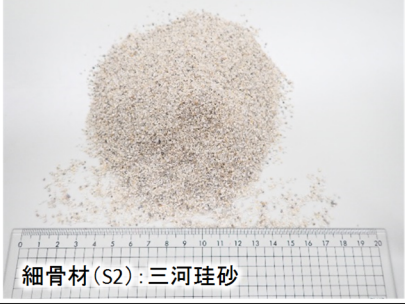
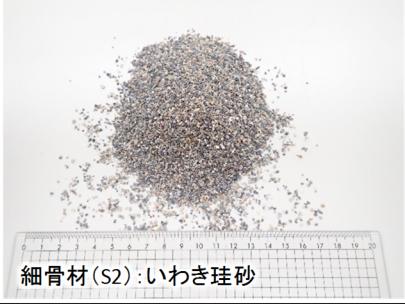

注3) 放熱管とコンクリート舗装の密着性を上げるため、スランプは一般的な設計値(2.5~8cm)と比べて大きめに設定する必要がある。

注4) 珪石および珪砂を利用する場合、珪石・珪砂の価格、生コンクリート工場までの運送料・工場のセット変更も含めた価格を設定する。

No.	No.1	No.2
呼び方	曲げ4.5-18-25H	曲げ4.5-18-25H
細骨材(S1)	新潟産(阿賀野)砂	新潟産(阿賀野)砂
細骨材(S2)	三河産珪砂	いわき産珪砂
粗骨材	三河産珪石	いわき産珪石

	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	4.95	5.10	5.58	5.21	5.46	4.83	5.88	5.39
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	6.93	6.72	6.90	6.85	7.59	8.10	8.22	7.97
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	8.34	7.62	7.83	7.93	8.76	9.00	9.36	9.04
熱伝導率 [W/m ² °C]	2.895	2.522	2.306	2.57	2.285	2.140	2.176	2.20

	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)
セメント	450	—	450	—
水	170	—	170	—
W/C	37.8	—	37.8	—
細骨材(S1)	428	1.9	397	1.9
細骨材(S2)	429	0	393	0
粗骨材	818	0	872	0.5
混和剤	3.6	—	3.6	—
スランプ(cm)	19.5		20.0	
空気量(%)	4.8		5.0	
温度(°C)	25		25	
塩化物量(kg/m ³)	0.037		0.032	

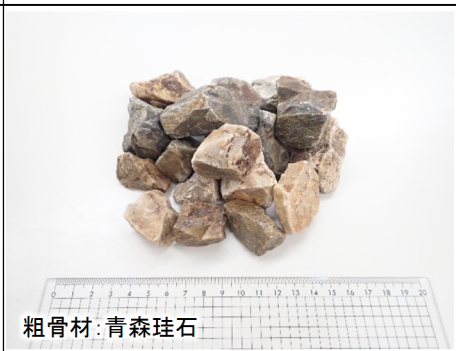
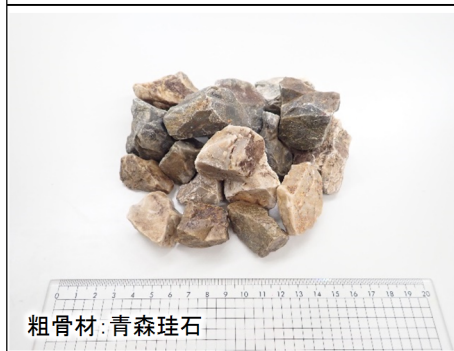
写真	 細骨材(S1): 新潟(阿賀野)砂	 細骨材(S1): 新潟(阿賀野)砂
	 細骨材(S2): 三河珪砂	 細骨材(S2): いわき珪砂
	 粗骨材: 三河珪石	 粗骨材: いわき珪石

No.	No.3	No.4
呼び	曲げ4.5-18-25H	曲げ4.5-18-25H
細骨材(S1)	新潟産(阿賀野)砂	—
細骨材(S2)	—	福井産珪砂
粗骨材	青森産珪石	青森産珪石

	N1	N2	N3	平均	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	5.40	4.86	5.43	5.23	5.43	5.73	5.67	5.61
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	8.13	8.13	7.62	7.96	9.00	8.58	9.06	8.88
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	7.29	8.37	8.28	7.98	10.2	10.3	9.48	9.99
熱伝導率 [W/m ² °C]	2.648	2.251	2.676	2.52	2.455	2.866	2.803	2.71

	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)
セメント	450	—	450	—
水	170	—	170	—
W/C	37.8	—	37.8	—
細骨材(S1)	854	1.9	—	4.3
細骨材(S2)	—	—	861	—
粗骨材	821	0	821	0
混和剤	4.5	—	5.85	—
スランプ(cm)	20		16.5	
空気量(%)	3.6		3.5	
温度(°C)	26		26	
塩化物量(kg/m ³)	0.031		0.027	

写真



No.	No.5
呼び	曲げ4.5-18-25H
細骨材(S1)	—
細骨材(S2)	福井産珪砂
粗骨材	福井産珪石

	N1	N2	N3	平均
曲げ強度 σ_1 [N/mm ²]	5.84	6.16	6.29	6.10
曲げ強度 σ_3 [N/mm ²]	6.90	6.20	6.66	6.59
曲げ強度 σ_7 [N/mm ²]	7.61	7.49	8.74	7.95
熱伝導率 [W/m°C]	2.453	2.381	2.595	2.48

	標準配合 (kg/m ³)	表面水率 (%)
セメント	450	—
水	170	—
W/C	37.8	—
細骨材(S1)	—	2.5
細骨材(S2)	801	—
粗骨材	872	0
混和剤	6.3	—
スランプ(cm)	19.5	
空気量(%)	3.6	
温度(°C)	26	
塩化物量(kg/m ³)	0.035	

写真



III. 導入検討例

1. 導入検討例

ここでは新潟市において実証研究施設を設置した際の検討例（設計例）を参考に示す。

1) 現地条件

- 融雪対象面積：200 m²
- 気象条件：新潟市の各気象条件より、表 III-1 のとおり設定する。

表 III-1 気象条件

項目	記号	単位	数値
設計日降雪深	Hm	cm/day	6.0
設計気温	Ta	℃	-0.07
設計風速	u	m/s	3.51

2) 必要熱量算出

融雪必要熱量は、ガイドライン本編 P.44～P.45 記載の式 4-3～4-10 を用いると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}q_s &= 2.78(c \cdot \Delta \theta \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 2.1 \times 0.07 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 0.049 \text{ (W/m}^2\text{)} \\ q_n &= 2.78(J \cdot h_s \cdot \rho_s) \\ &= 2.78 \times 334 \times 1.49 \times 0.08 \\ &= 110.68 \text{ (W/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

土工部の場合の熱効率 $\eta=0.9$ 程度とすると以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}q_i &= 1/\eta \cdot (q_s + q_n) \\ &= 1/0.9 \times (0.049 + 110.68) \\ &= 1/0.9 \times 110.729 \\ &= 123.0 \text{ (W/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

3) 総必要熱量

先に検討した融雪対象面積 (204 m²) より、本箇所における総必要熱量は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}Q &= 200 \text{ m}^2 \times 123.0 \text{ W/m}^2 \\ &= \underline{\underline{24046 \text{ W} (\doteq 24.1 \text{ kW})}}\end{aligned}$$

4) 放熱部構成

本検討では、B-DASH ガイドラインの成果を反映し、表 III-2 のとおり高熱性能舗装となるコンクリート舗装の熱伝導率を用いて設計を行う。

表 III-2 本検討で採用する舗装材の熱伝導率

舗装種類	熱伝導率 (W/m ² /°C)	数値の根拠
高熱性能コンクリート	2.1	ガイドライン設計値

①その他放熱部構成

その他放熱部の配管材質や設置間隔ならびに舗装構成は以下のとおりとする。

- ・放熱管の種類および口径 : SUS15A
- ・放熱ユニット面積 : 15 m² 以内
- ・放熱管設置間隔 : 150 mm 間隔
- ・放熱管内流速および送水量 : 0.7 m/s (10.33 L/ (min・ユニット))
- ・舗装版厚 : 280mm (N6 交通相当)
- ・パネル構成例 : 図 III-1 のとおり

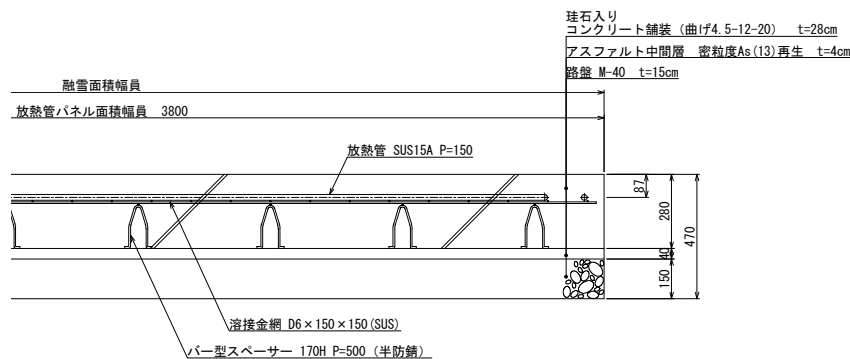


図 III-1 コンクリート舗装厚 28cm での放熱パネルの構成例

②コンクリート舗装の舗装構成及び配合

コンクリート舗装構成及び配合は、表 III-3、表 III-4 に示す設計要領（道路編）に準拠した。

B-DASH 実証研究地においては設計 CBR が判明していなかったため、新潟市で指定されている道路標準復旧断面図（平成 27 年 4 月）および新潟市舗装マニュアル（平成 23 年 4 月）より、現地の道路状況に則ったところ、設計要領（道路編）の交通量区分 N6 に相当した。

表 III-3 普通道路の標準舗装構成（舗装の設計期間 20 年）

交通量区分	舗装計画交通量(T) (台/日・方向)	路床設計 C B R	コンクリート 版	アスファルト 中間層	路盤	
					上層路盤	下層路盤
					粒調碎石 (M-40)	再生 クラッシュラン (RC-40)
N ₃	T < 100	3	15	—	20	25
		4	15	—	25	—
		6	15	—	20	—
		8以上	15	—	15	—
N ₄	100 ≤ T < 250	3	20	—	20	25
		4	20	—	25	—
		6	20	—	20	—
		8以上	20	—	15	—
N ₅	250 ≤ T < 1,000	3	25	—	30	30
		4	25	—	20	25
		6	25	—	25	—
		8	25	—	20	—
		12以上	25	—	15	—
N ₆	1,000 ≤ T < 3,000	6以上	28	4	15	—
N ₇	3,000 ≤ T	6以上	30	4	15	—

注) コンクリートの設計基準曲げ強度は 4.4 MPa とする。

(設計要領 (道路編) p8-49 より)

表 III-4 コンクリートの標準配合規格

区分	呼び強度	骨材最大寸法	スランプ	空気量	セメント種類
一般	曲げ 4.5	40 mm以下	2.5 cm	4.5%	B. B *
特殊 ⁽²⁾	曲げ 4.5	40 mm以下	6.5 cm	4.5%	B. B *

*高炉セメント (セメント種類は施工条件等により早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントを使用する場合がある。)

(注) 呼び強度の曲げ 4.5 は、設計基準曲げ強度値 4.4 MPa に対応するものである。

(設計要領 (道路編) p8-50 より)

5) 循環流量および平均通水温度算定

①循環流量算定

現地条件から 15m² 以下で施工性なども考慮して最適な配置を検討した結果、15 ユニットとなったので、全体循環水流量は本編 P.49 式 4-13~式 4-14 より以下のとおりとなる。

$$Q_r = 10.33 \times 15 \text{ ユニット} \\ = 155 \text{ L/min}$$

②熱源水温度の算定式

熱源水の比重を 1045 kg/m³、熱源水の比熱を 3680 J/ (kg°C) として、本編 P.49 式 4-15～P.51 式 4-20 の算定式を用いて試算すると、熱源水温度は表 III-5 のとおりとなる。

表 III-5 各構成別の放熱管入口出口水温および循環流量算出結果

計算項目	算定結果
循環流量 ^{※1} (パネル数)	155 L/min(15 パネル)
放熱管行き温度 (Ta)	6.84°C
放熱管還り温度 (Tb)	4.08°C

※1 循環流量=パネル数×10.33 L/min

6) 採熱側熱交換器設計

①設計条件

採熱側熱交換器の設計にあたり、採熱側条件を以下のとおり設定する。

- 下水温度：8.0°C
- 下水管径：φ1000
- 下水水深：15 cm
- 設置可能ユニット数：24 本

②熱交換器

設定条件を本編 P.52 式 4-21 に代入して試算すると、採熱延長は 92.2m 必要となる。

$$L = \frac{24100}{24 \times \pi \times 0.017} \times \frac{1}{90} \div \left(\frac{(8.0-6.84)-(8.0-4.08)}{\ln(8.0-6.84)-\ln(8.0-4.08)} \right)$$
$$= 92.2 \text{ m}$$

7) 循環設備構成

①配管設計

配管摩擦損失の設計は、下水採熱管内、送集水管延長の最も長い区間、放熱管延長、屈曲箇所数を整理して試算する。

②配管摩擦損失

作成した配管系統から、最も配管摩擦損失が大きくなる系統（配管延長が長くなる系統）を選定し、本編 P.57 式 4-28～P.58 式 4-30 にて損失計算を行う。システムの配管計算として、採熱管 17A98m（熱交換器延長 92m＋上下流ヘッダー長 6m）、送集水管 50A243m（ポンプ位置 50m×2＋採熱管内送水管 98m、放熱パネル部送水管 45m）、放熱管 15A100m で

算出した結果、配管摩擦損失水頭は 24.7 m と試算された。

③循環ポンプ

循環ポンプは、必要な不凍液循環量ならびに配管損失をもとに、ポンプメーカーのラインポンプの性能曲線図を参考に決定する。

8) 事業性評価

本システムの事業性を従来技術であるボイラー利用と比較した結果を表 III-6 に示す。本システムは、建設費がボイラー利用に比べて高価であるが、維持管理費が安価であるため、総費用（年換算値）では 12.9%縮減となる。また、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量は 94%削減効果があることから、事業性が高い施設であると評価できる。

表 III-6 事業性評価結果（125m²、25kW 利用）

想定条件	試算項目	単位	本システム	ボイラー利用
総費用 (年換算値)	建設費	(千円)	67,500	32,000
	維持管理費※1	(千円/年)	153	1,103
	総費用※2	(千円/年)	1,501	1,724
④エネルギー消費量		(kW/年)	1,799	31,250
⑤温室効果ガス排出量		(kg-CO ₂ /年)	1,233	21,431

※1 1000 時間運転時。50 年間の点検費、維持管理費、修繕費等を 50 年で割ったもの

※2 建設費（熱源、舗装、制御等含んだ一式）÷50 年＋維持管理費

IV. 実証外地域における総費用試算例

1. 実証外地域における総費用（年換算値）試算例

ここでは、実証外地域として 200W/m² 相当の必要熱量が必要な地域（北海道では北限が札幌市近郊まで、本州では東北・北陸の山間地域等）における総費用（年換算値）の試算例を示す。

(1) 費用（総費用）

必要熱量が 200W/m² となる地域における事業評価（総費用）は、表 IV-1 に示す実証研究モデルで評価する。

算定結果を表 IV-2 に示す。125m²-200W/m² 想定、採熱量 25kW の場合、本技術が 1,247 千円/年、ボイラー方式が 1,696 千円/年、電熱方式が 2,598 千円/年となり、対ボイラー方式比で 26.4 %の縮減となった。

表 IV-1 総費用の算定構成モデル※1

項目		規格	
利用規模（最大負荷）		25 kW 級	
融雪面積	200 W/m ² 試算※札幌想定	125 m ²	
採熱設備 (本システムのみ)	下水管径	Φ1,000	
	採熱管本数	24 本	
	採熱延長	90 m×1 系統	
総費用試算期間		50 年	
定期点検		年 1 回	
設備交換周期	熱源水	15 年	
	ボイラー	15 年	
	電熱ヒーター	舗装交換	15 年
	下水熱	簡易点検・清掃	10 年毎
		設備補修	30 年
運転時間	札幌想定	2,000 時間/年	
運転費用	ガス※2	1 m ³ N 当たり	92.2 円/m ³ N
		基本料金	2,310 円/月
		燃焼効率	80 %
	電気※3	1 kWh 当たり (11 月～2 月)	22.22 円 (期間外 29.81 円)
		基本料金※上記期間	1,944 円/(kW・月)
		基本料金※上記以外	957 円/(kW・月)

※1 建設費は、融雪部・制御部も含んだ金額。下水熱のみ高熱性能コンクリート舗装を計上

※2 ガス料金は北海道ガスの札幌地区の料金設定で月 200～1500m³/月を参考に設定

※3 電気料金は北海道電力の「エネ得スノープラン（低圧）」を参考に設定

表 IV-2 総費用試算結果 (200W/m² 想定)

評価項目	単位	革新的技術 ※本システム A	従来技術 ※ボイラー方式 B	比較技術 ※電熱方式 C	コスト削減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	51,000	21,000	27,000	—
維持管理費②	(千円/年)	227	1,276	2,057	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,247	1,696	2,598	26.4%

(2) エネルギー消費量

エネルギー消費量の計算は、総費用を試算した運転時間で想定する。表 IV-3 にモデルケースのエネルギー消費量の試算例を示す。本システムのエネルギー消費量はボイラー方式と比べて 94.2%、電熱方式と比べて 92.8%削減となった。

表 IV-3 エネルギー消費量試算例

試算項目	本システム	ボイラー方式	電熱方式
①融雪能力(kW)	25	25	25
②SCOP	13.9	0.8	1.0
③運転時間(h/年)	2,000	2,000	2,000
④エネルギー消費量(kW/年)※	3,598	62,500	50,000

※④=①÷②×③

(3) 温室効果ガス排出量

本システムと従来技術および比較技術のエネルギー消費量から CO₂ 排出量を算出した結果を表 IV-4 に示す。CO₂ 排出量は、従来技術であるボイラー利用に対して 94.2%、比較技術である電熱ヒーターに対して 92.8%と大幅な削減効果が見込まれる結果を得られた。

表 IV-4 温室効果ガス削減量試算例※1 kW 当り 0.55 kg-CO₂ として試算

試算項目	本システム	ボイラー利用	電熱利用
エネルギー消費量(kW/年)※ ¹	3,598	62,500	50,000
温室効果ガス排出量(kg-CO ₂ /年)※ ²	1,979	34,375	27,500

V. B-DASH プロジェクト実証研究結果

1.3. 施設諸元

表 V-1 実証施設の概要・諸元

諸元区分	項目	単位	数値・内容
設計気象条件	設計外気温	℃	-0.07
	設計降雪深	cm/h	1.49
	設計風速	m/s	3.51
放熱部	融雪対象面積	m ²	204
	計画放熱量	W/m ²	123
	設計総放熱量	kW	25.1
	車道用コンクリート舗装の厚さ	mm	280
	舗装の熱伝導率(実測値) ※珪石入り車道用舗装	W/m/℃	2.4(サンプル平均値)
	放熱パネル標準サイズ	m ²	15
	放熱管種類(呼び径)	—	SUS15A
	放熱管敷設間隔	mm	150
	放熱管埋設深さ(表層より管芯まで)	mm	87
循環部	循環設備	—	Φ50-2.2kW
	設計循環流量	m ³ /min	0.155
採熱部	排除方式	—	合流式
	下水管径(SPR工法にて更生済)	Φ	1,000
	採熱管敷設延長	m	91.8
	採熱管種類	—	下水用ポリエチレン管Φ17 (高採熱タイプ)
	採熱ユニット数	ユニット	24
	設計下水温度	℃	8.5
	下水水深(実測値平均)	mm	81
制御部	検知センサ1	—	降雪センサ(光型)
	検知センサ2	—	路面温度センサ
	運転方法	—	予熱、連続
	運転条件	—	降雪あり、もしくは路温一定以下
	運転一時停止条件	—	下水温度<路面温度のとき
計測機器 ※制御盤内の ロガーで測定 しているもの	設置ロガー	—	アナログ8ch、接点24ch
	循環流量(ブライン)	L/min	0.1L/min単位
	上流側下水温度	℃	0.1℃単位
	放熱前行き温度	℃	0.1℃単位
	放熱後戻り温度	℃	0.1℃単位
	採熱後ヘッダー温度	℃	0.1℃単位
	降雪の有無	—	有り・無し※検知センサ1
	舗装温度	℃	0.1℃単位※検知センサ2
計測機器 (気象)	ポンプ消費電力	W	100W単位
	降雪深	cm	0.1cm単位
	風速	m/s	0.1m/s単位
計測機器 (下水内)	外気温	℃	0.1℃単位
	下水水深	mm	1mm単位
	下流側下水温度	℃	0.1℃単位

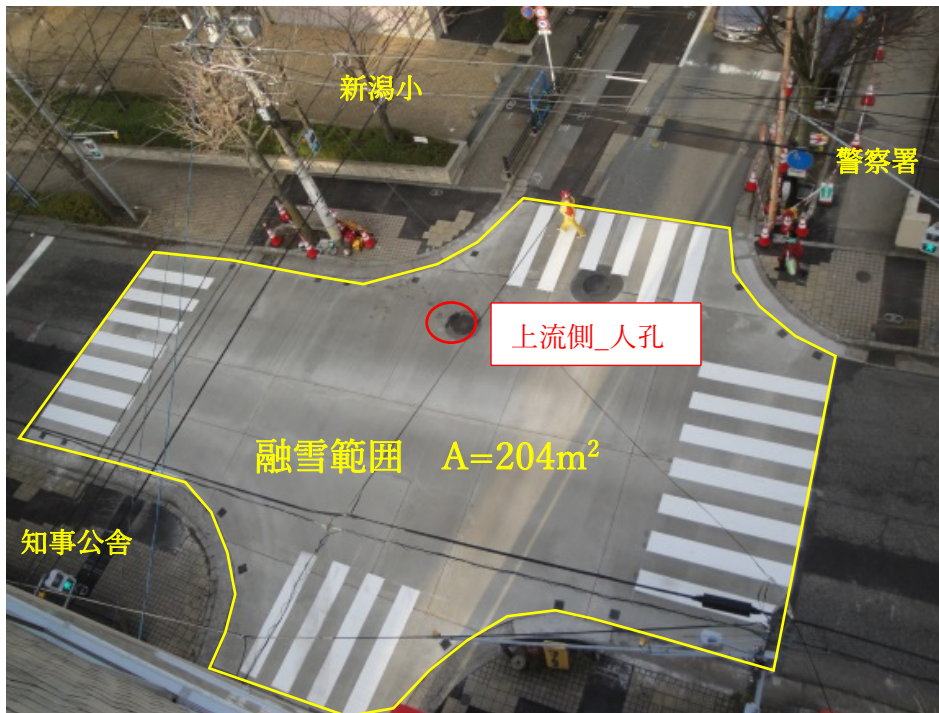


写真 V-1 融雪範囲（隣接ビル屋上より）



写真 V-2 放熱パネル※コンクリート打設前



写真 V-3 採熱範囲地上写真（隣接ビル屋上より）※写真は施工前



写真 V-4 採熱管写真（管底採熱部）



写真 V-5 制御盤一体型バルブボックス写真

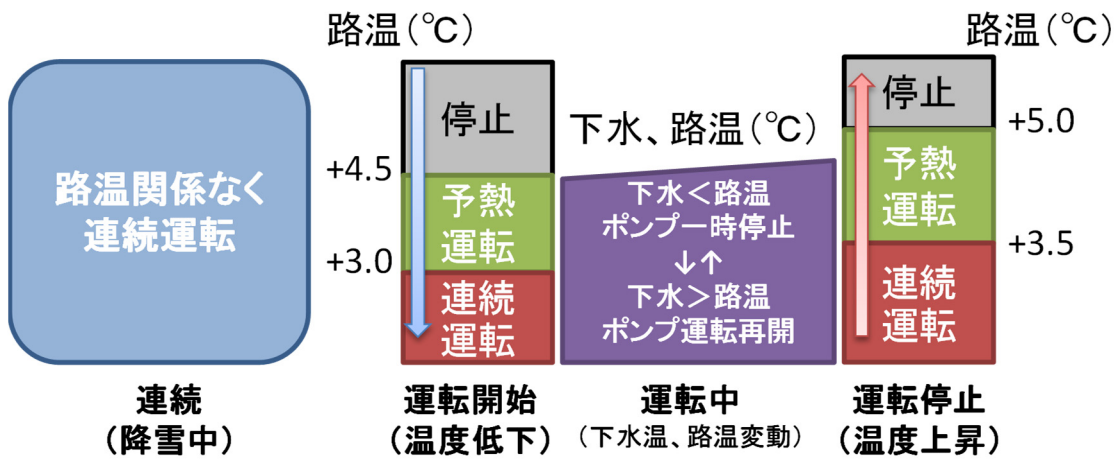


図 V-3 運転条件図



写真 V-6 実証研究施設の融雪状況

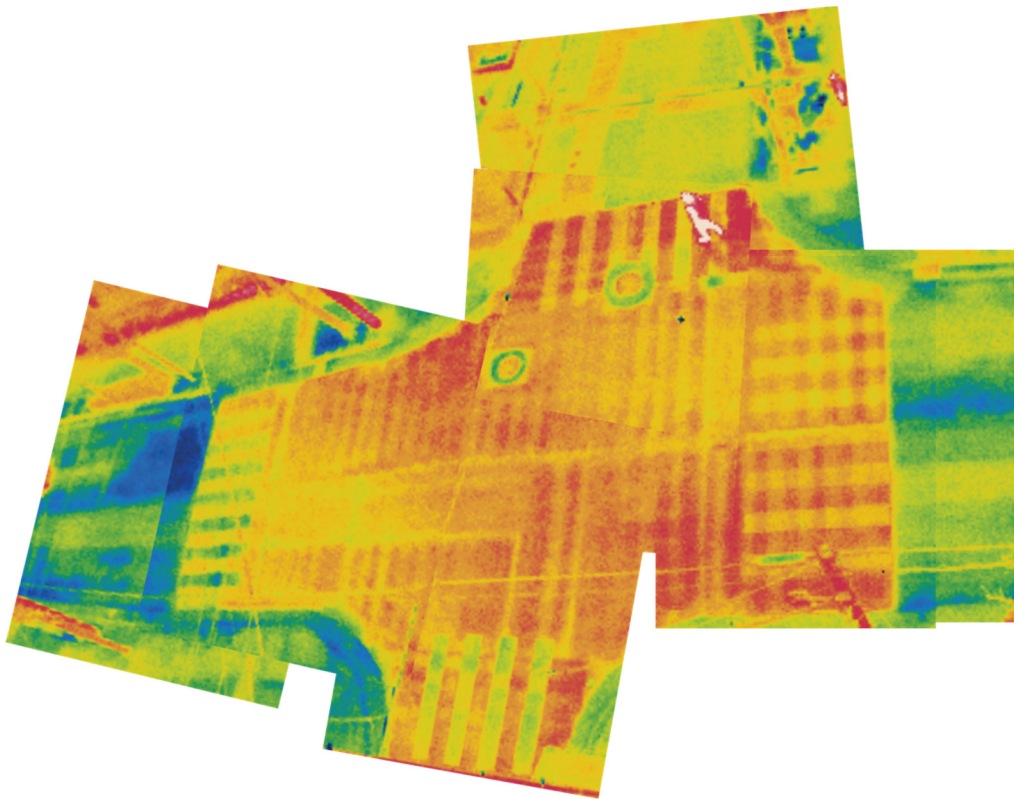


写真 V-7 運転中の舗装面のサーモ写真

2. 研究成果

2.1. 運転状況

実証施設の稼働時間を図 V-4、運転条件別の放熱量を図 V-5 に示す。観測期間は 2018 年 12 月 26 日 0 : 00 から 2019 年 3 月 1 日 13 : 20 までのものである。

施設稼働時間は間欠運転で 342.4 時間、連続運転で 82.6 時間の計 425 時間であった。放熱量は、降雪時に 120 W/m^2 、舗装温度が 3°C 以下に低下しているときで 128.5 W/m^2 と見積もられた。路面温度が 3°C 以上のときは、いずれも 105 W/m^2 に満たない結果となった。

稼働時間

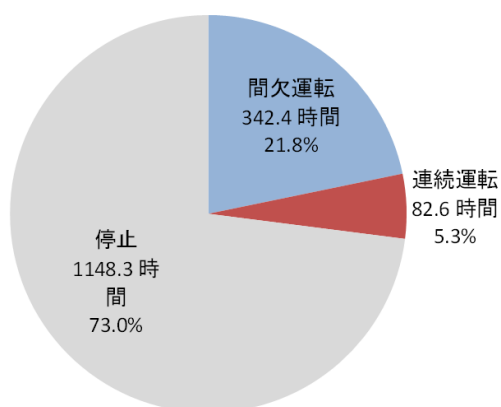


図 V-4 稼働時間観測結果

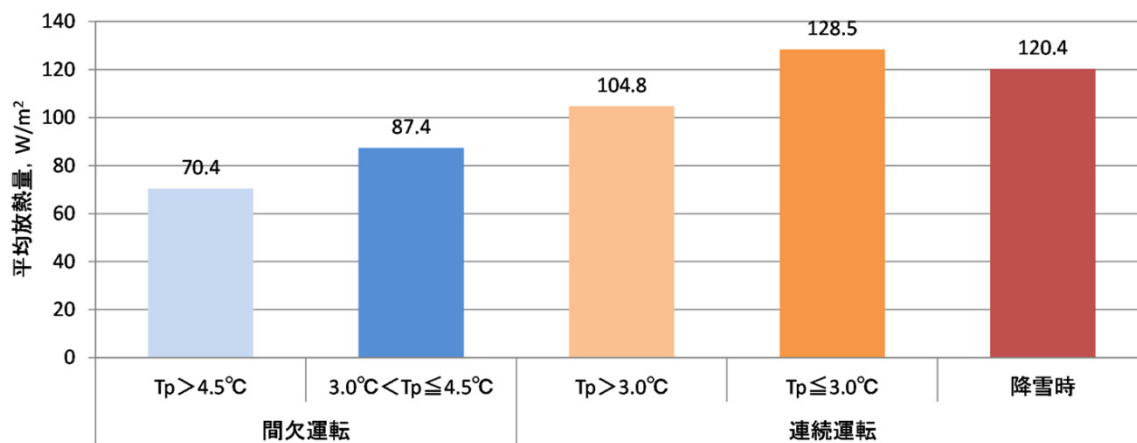


図 V-5 運転条件別放熱量※ T_p : 舗装温度

2.2. 採熱性能の評価

高熱性能採熱管の熱交換性能については、観測データのなかから全採熱管が着水した状態で、以下の条件もそろったときの総括熱伝達係数と従来方式の採熱管の総括熱伝達係数を比較した。

(総括熱伝達係数算定条件)

- ・ 降雪時間帯付近であること
- ・ 路面温度が低く、放熱時であること (路面温度が低くかつ温度低下時)
- ・ 下水温度が安定していること

(ex: 急激な下水温上昇は総括熱伝達係数が見かけ上小さくなる)

- ・ 下水水位が安定していること (採熱管が全て着水していること)

図 V-6 に採熱性評価結果を示す。高熱性能採熱管の熱交換性能を示す総括熱伝達係数は目標の 90W/m^2 を上回る 94.6W/m^2 であり、既存技術 (70W/m^2) に対して 1.35 倍の性能向上を確認できた。本年は降雪がほとんどなかったためデータ数が少ないこと、データのバラツキ等も考慮すると、来年度以降で降雪時のデータも確認していくことが望ましい。尚、2.8 における SCOP10 以上を達成するシステム構成の検討では本検討の目標値である 90W/m^2 を用いる。

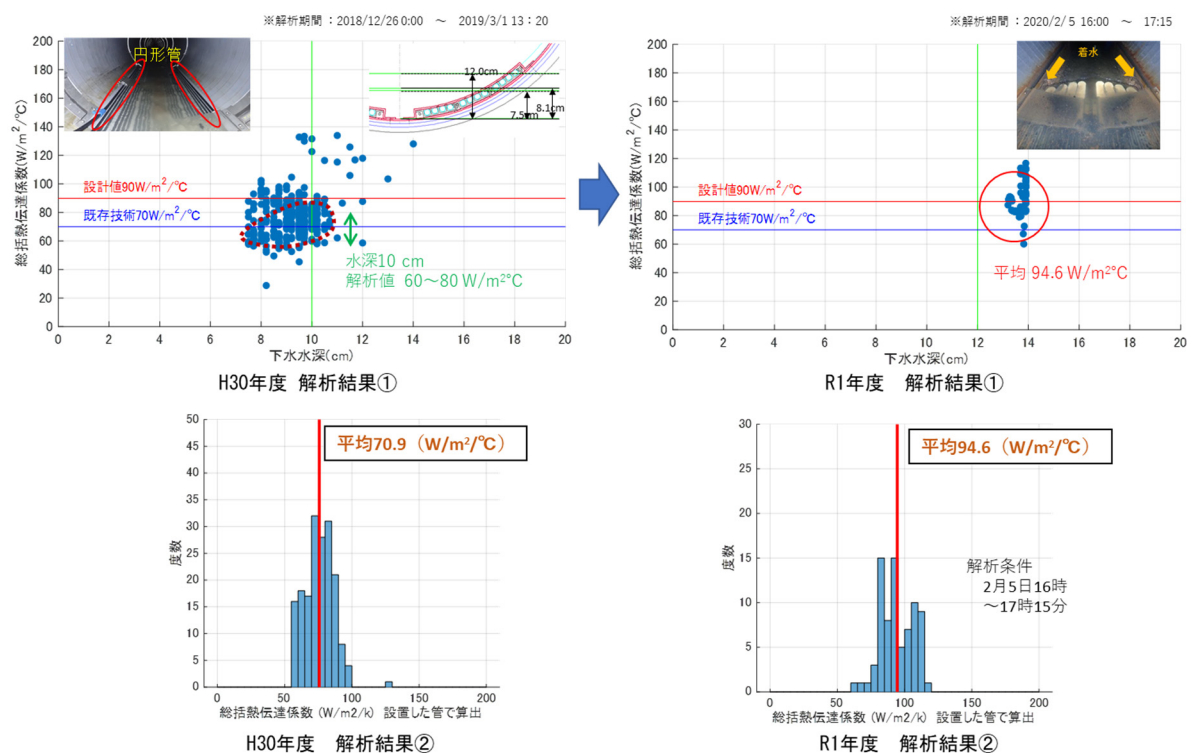


図 V-6 採熱性 (総括熱伝達率) 評価結果

2.3. 放熱性能の評価

研究では、舗装の熱伝達係数が $21\text{W/m}^2\text{C}$ と解析している。この値を一般的なコンクリート舗装と比較評価するため、放熱管の埋設深度と熱効率を実測値から検証し、既存技術の総括熱伝達係数を実測値に合わせて再計算し、総括熱伝達係数の向上率を検証した。

実証施設施工時に、3D スキャナを使用して放熱管の位置と舗装表面の位置を測定した結果は平均 93 mm であった。また、観測データより融雪時の熱効率はほぼ 1 であったことをふまえ、従来技術の総括熱伝達係数を算出する。

放熱管の平均通水温度算出式を総括熱伝達係数の定義式に組み込むと、

$$\bar{T} = q_u \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i} + T_m$$

$$\bar{T} - T_m = \eta q \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}$$

$$U = \frac{q}{(\bar{T} - T_m)}$$

$$= \frac{q}{\eta q \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + q \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}$$

$$= \frac{1}{\eta \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}}$$

λ	: 舗装の熱伝導率	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
l_1	: 放熱管中心から路面までの最長距離	m
l_2	: 放熱管中心から路面までの最短距離	m
a'	: 1 ユニット当たり放熱面積	m^2
λ_p	: 放熱管の熱伝導率	$\text{W/m}^\circ\text{C}$
l	: 1 ユニット当たり放熱管長さ	m
d_o	: 放熱管外径	m
d_i	: 放熱管内径	m
T_m	: 路面温度	$^\circ\text{C}$
T	: 平均通水温度	$^\circ\text{C}$
q_u	: 上部放熱量	W/m^2
q	: 単位面積当たり必要熱量	W/m^2
H	: 熱効率	
U	: 総括熱伝達係数	$\text{W/m}^2\text{C}$

施設の設計条件および放熱管の平均埋設深度、融雪時の熱効率を代入し、従来技術の総括熱伝達係数は、

$$U = \frac{1}{\eta \frac{l_1+l_2}{2\lambda} + \frac{a'}{2\pi\lambda_p l} \cdot \ln \frac{d_o}{d_i}} = \frac{1}{1.0 \times \frac{0.1195 + 0.093}{2 \times 1.6} + \frac{13.8}{2 \times 3.14 \times 16 \times 92} \cdot \ln \frac{0.0217}{0.0177}}$$

$$= 15.0 [\text{W/m}^2\text{C}]$$

と求められる。

研究時に測定した実証施設の総括熱伝達係数 $21\text{ W/m}^2\text{C}$ より、放熱性能向上率は、

$$21 \div 15.0 = 1.4 \quad \underline{\text{放熱性能向上率 } 40 \%}$$

となる。

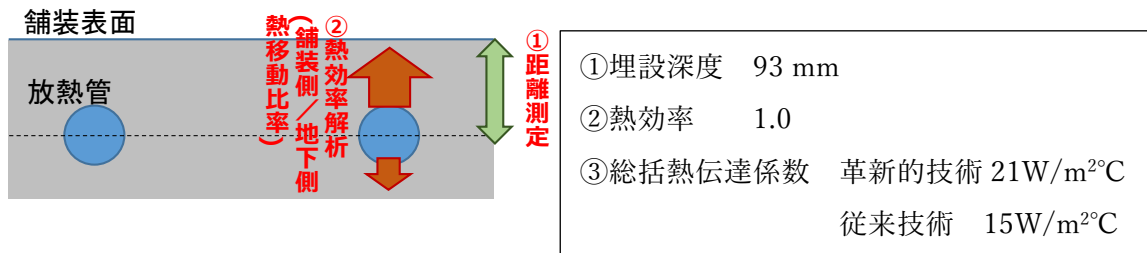


図 V-7 放熱性能向上率検証結果（融雪時・熱効率 1.0、埋設深度 93 mm）

2.4. 片押し対向流方式の評価

実証研究で採用した片押し対向流方式と既存技術で用いられていた折り返し方式による熱交換量の違いを試算し、評価した。

表 V-2 に評価結果を示す。採熱延長が短くなる分、採熱温度差は 30% 縮小するが、流量が 2 倍に増えることで、採熱量で 40%以上の増加を見込むことができる結果が得られた。

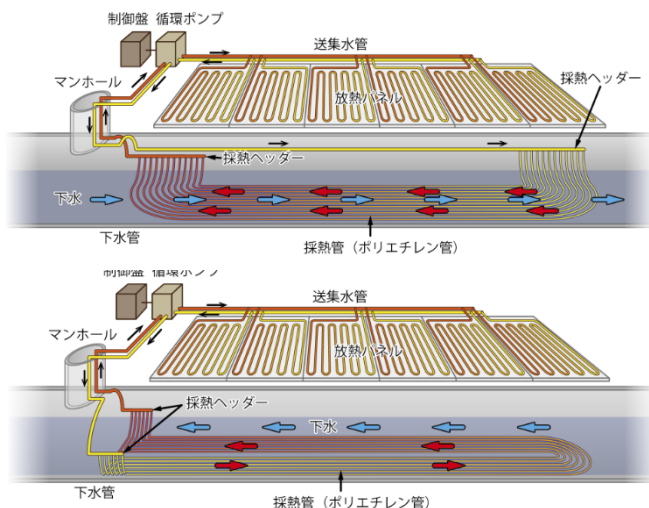


図 V-8 上：片押し方式、下：折り返し方式

表 V-2 片押し方式による採熱量向上効果の試算例

		革新的技術	既存技術
		高採熱管	高採熱管
		対向流方式	折り返し方式
採熱管本数	本	24	12
採熱管延長	m	91.8	183.6
熱源水流量	L/min	155.0	77.5
下水温度	°C	10.0	10.0
採熱管往温度	°C	5.33	5.33
採熱管戻温度	°C	8.19	9.39
温度差	°C	2.86	4.06
総括熱伝達率	W/m ²	97.9	97.9
採熱量	kW	28.4	20.2

青字：実験値
(分析期間の平均値)
赤字：計算値

UP率	%	40.9
-----	---	------

2.5. 遅い熱源水流速の評価

①評価方法

遅いブランチ流速の評価はシステム COP で行う。算定式を式 2-1 に示す。

分析は、観測結果より 30 分以上運転した期間について、間欠運転、連続運転それぞれの COP の整理を行った。

また、遅い熱源水流速の採用により放熱パネル内の融雪能力に差が生じる可能性が懸念された。これに対し実施した放熱管敷設方法に関する評価も合わせて行った。

$$\text{成績係数 (COP)} = \frac{\text{熱交換量 (融雪能力)}}{\text{消費エネルギー}} \quad \text{式 2-1}$$

②分析・評価

間欠運転、連続運転それぞれの COP 分析結果を図 V-9 に、運転条件ごとの平均 COP を図 V-10、表 V-3 に示す。分析の結果、間欠運転では下水温度と路面温度センサの温度差が約 3 °C、連続運転では温度差が約 5 °C の時に COP10 を達成していた。また、期間全体の平均 COP および降雪時 COP は 13.9、路面温度 3°C 以下の連続運転時 COP は 13.2 という結果が得られた。

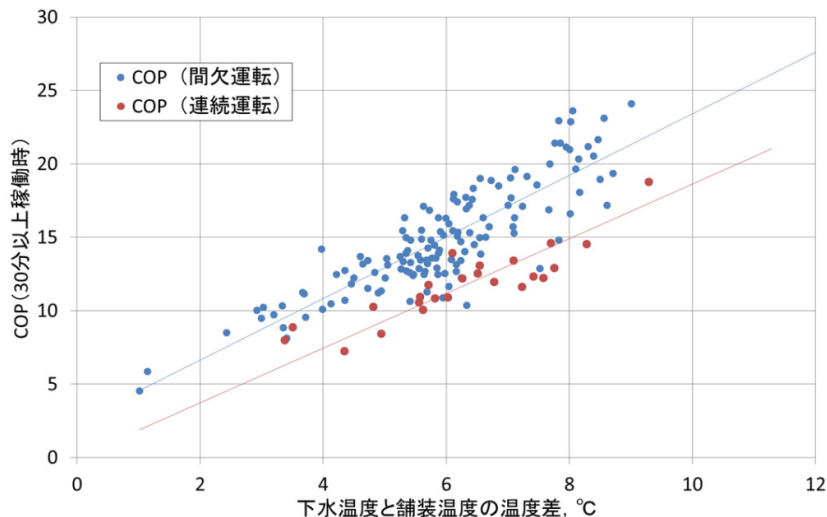


図 V-9 COP と下水－舗装温度差の解析結果

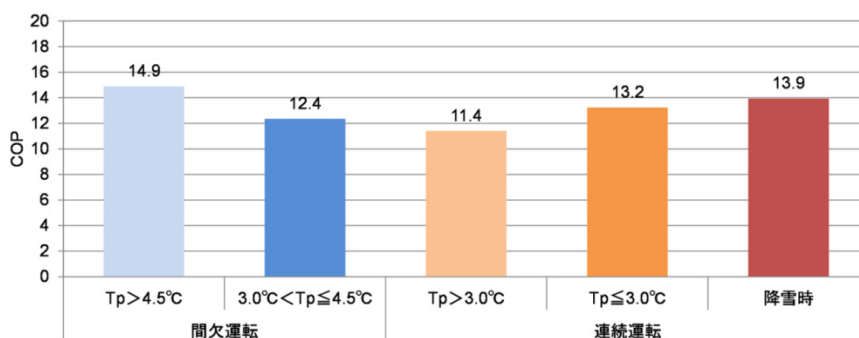


図 V-10 システム COP 分析結果

表 V-3 運転条件別平均システム COP

運転状況		間欠運転	連続運転
運転条件別の平均		14.0	13.5
路面温度 T_p	$4.5\text{ °C} > T_p$	14.9	—
	$3.0\text{ °C} \leq T_p \leq 4.5\text{ °C}$	12.4	—
	$T_p > 3.0\text{ °C}$	—	11.4
	$T_p \leq 3.0\text{ °C}$	—	13.2
降雪時		—	13.9
全期間平均		13.9	

2.6. 事業性評価

本実証施設と温水ボイラーおよび電熱ヒーターの総費用について解析し、従来技術であるボイラー融雪施設、その他比較技術である電熱ヒーティングと比較を行った。算定結果を表 V-4、表 V-5 に示した。

札幌において、最大負荷 25 kW 級の各融雪設備を導入し、年に 2000 時間の運転をした場合、総費用（年価換算値）は本システムが 1,247 千円/年、ボイラー利用式従来技術が 1,696 千円/年、電熱ヒーターが 2,598 千円/年となり、対ボイラー比で 26.4 %のコスト縮減となった。

同様に新潟で 1000 時間運転した場合は、本システムが 1,501 千円/年、ボイラー利用式従来技術が 1,724 千円/年、電熱ヒーターが 2,019 千円/年となり、12.9 %の縮減となった。運転時間や対象とする融雪面積によって差はあるものの、目標としていた総費用の 10 %以上の削減を達成できる結果が得られた。

表 V-4 総費用検討結果（運転時間 2000 h、札幌）

評価項目	単位	革新的技術 ※本研究 A	従来技術 ※ボイラー利用 B	比較技術 ※電熱ヒーター C	コスト縮減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	51,000	21,000	27,000	—
維持管理費②	(千円/年)	227	1,276	2,058	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,247	1,696	2,598	26.4%

表 V-5 総費用検討結果（運転時間 1000 h、新潟）

評価項目	単位	革新的技術 ※本研究 A	従来技術 ※ボイラー利用 B	比較技術 ※電熱ヒーター C	コスト縮減割合 ※対ボイラー比 (B-A) / B%
建設費①	(千円)	67,500	32,000	31,850	—
維持管理費②	(千円/年)	151	1,084	1,382	—
総費用①÷50+②	(千円/年)	1,501	1,724	2,019	12.9%

※建設費には、融雪部・制御部も含んだ金額。下水熱のみ高熱性能コンクリート舗装を計上

2.7. 骨材産地別の舗装熱伝導率

①骨材産地選定

普及拡大に向けて安価で入手しやすい高熱伝導舗装を検討するため、実証研究で骨材に利用した珪石について、各産地別の熱伝導率試験と車道用舗装としての強度確認として曲げ強度試験を行った。本研究は融雪利用であることから、積雪寒冷地域に近い珪石鉱山から、図 V-11 に示す三河産、いわき産、青森産を選定した。



図 V-11 珪石・珪砂産地位置図※北海道は産地なし
(地図出典元：国土交通省国土地理院 地理院地図)

②曲げ強度試験・熱伝導率測定結果

本研究の舗装コンクリートサンプルと平成 28 年度に行った予備調査における試験練りサンプルの熱伝導率測定結果を、図 V-12 に示す。

研究した各地の珪石入りコンクリート舗装の熱伝導率は、多少ばらつきがみられたが、平均熱伝導率は $2.49 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ であり、設計採用値である $2.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ を全て上回っていることが確認できた。また、一部のサンプルは粗骨材のみ珪石を用いたため、珪石の比率が 35%程度で他のサンプルの半分程度のものもあったが、それでも設計採用値の $2.1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ を超える値が得られる場合があることも確認した。

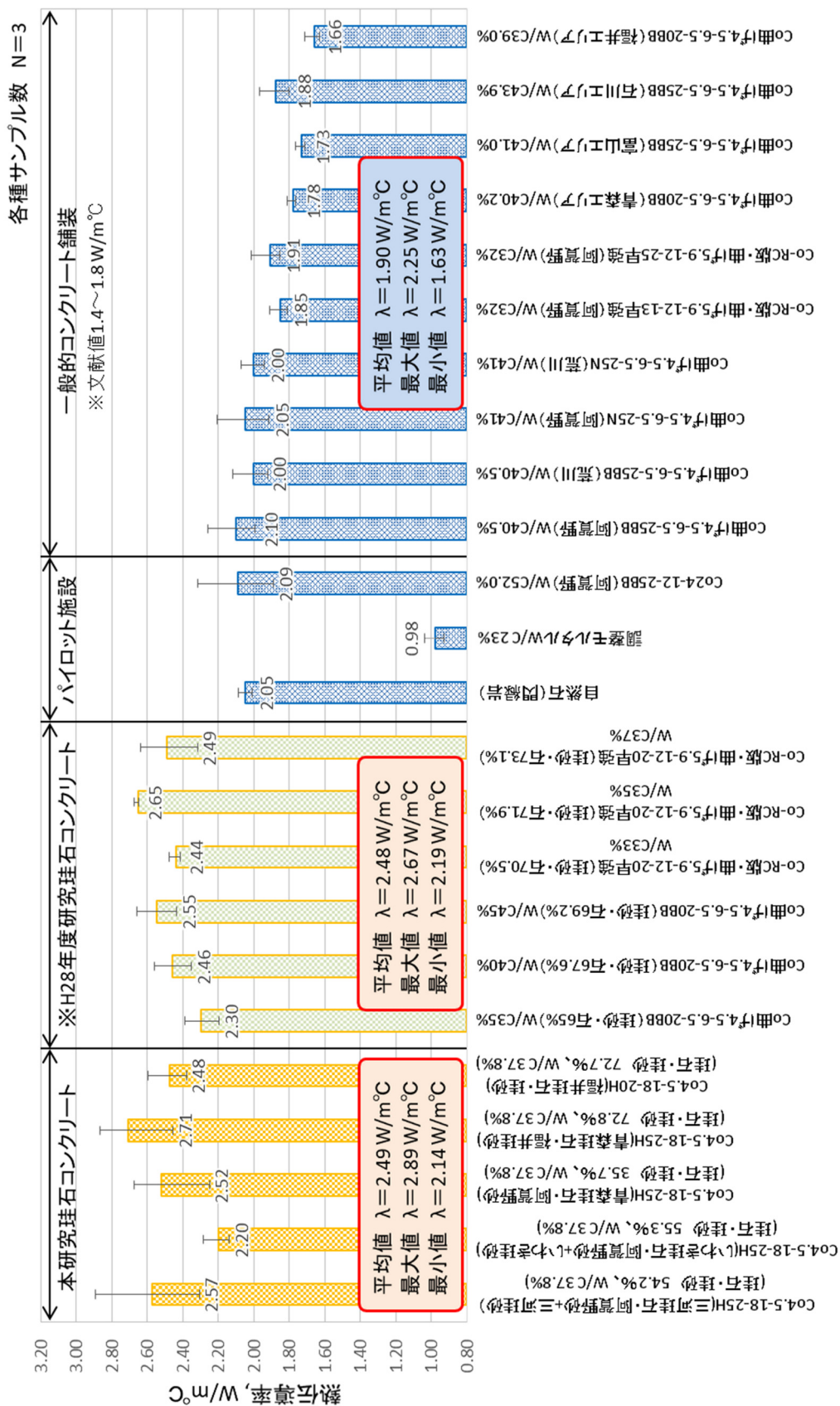


図 V-12 舗装コンクリートサンプル熱伝導率測定結果一覧

2.8. COP10 以上を達成するシステム構成の研究

SCOP (System Coefficient Of Performance) は電力 1kW を使って、どれだけの熱量を融雪に利用できるかを示す尺度であり式 2-2 で計算できる。本施設に必要な電力は不凍液を循環させるポンプの動力のみであるため、SCOP は融雪に利用する熱量をポンプの動力で除したものとなっている。SCOP=10 であれば、消費電力の 10 倍の融雪性能があることを示しており、SCOP が大きいほど省エネ性が高いことを示している。

$$\text{成績係数 (COP)} = \frac{\text{熱交換量 (融雪能力)}}{\text{ポンプ消費電力}} \dots \text{式 2-2}$$

ここで検討した熱源側条件と利用側条件を表 V-6 に示す。

表 V-6 検討パラメータ

熱源側		
下水温度	7.5, 10, 12	°C
下水水位 (20%程度まで)	3 or 4	水準
管径 (内径)	800, 1000, 1500, 2000	mm
利用側		
利用熱量	100, 150, 200	W/m ²
融雪面積	50, 100, 200, 300, 400	m ²

下に融雪負荷 100 W/m² (新潟市想定) の場合の検討結果を示す。図 V-13 は必要な採熱延長で本研究の目標である SCOP が 10 以上になる条件を黒字、緑字で示している。多くの条件で SCOP10 以上を実現できる可能性があることが確認できる。

融雪負荷 100W/m² 想定 (新潟市等)

融雪に必要な放熱部入口最低温度=5.80°C

表中数値は採熱管延長距離(m)

融雪負荷(kW) →			有効採熱管延長(m)																					
			5 kW					10 kW					20 kW					30 kW					40 kW	
地域A			下水温度(°C)																					
必要熱量 100W/m ²			7.5					10					12											
管径 (mm)	下水最低水深 (mm)	採熱管本数 (本)	融雪面積(m ²)																					
			50	100	200	300	400	50	100	200	300	400	50	100	200	300	400							
Φ800	55	8	55.1	110.1	220.3	330.4	440.6	27.1	54.1	108.2	162.3	216.4	19.3	38.7	77.3	116.0	154.6							
	90	16	27.5	55.1	110.1	165.2	220.3	13.5	27.1	54.1	81.2	108.2	9.7	19.3	38.7	58.0	77.3							
	145	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
Φ1000	90	16	27.5	55.1	110.1	165.2	220.3	13.5	27.1	54.1	81.2	108.2	9.7	19.3	38.7	58.0	77.3							
	150	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
	220	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
Φ1500	110	24	18.4	36.7	73.4	110.1	146.9	9.0	18.0	36.1	54.1	72.1	6.4	12.9	25.8	38.7	51.5							
	160	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
	220	40	11.0	22.0	44.1	66.1	88.1	5.4	10.8	21.6	32.5	43.3	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9							
Φ2000	130	32	13.8	27.5	55.1	82.6	110.1	6.8	13.5	27.1	40.6	54.1	4.8	9.7	19.3	29.0	38.7							
	170	40	11.0	22.0	44.1	66.1	88.1	5.4	10.8	21.6	32.5	43.3	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9							
	230	48	9.2	18.4	36.7	55.1	73.4	4.5	9.0	18.0	27.1	36.1	3.2	6.4	12.9	19.3	25.8							
300	56	7.9	15.7	31.5	47.2	62.9	3.9	7.7	15.5	23.2	30.9	2.8	5.5	11.0	16.6	22.1								

- 黒字 COP=10以上 (採熱管本数減、折り返し式等の適正な配管設計な場合)
- 緑字 COP=10以下、ポンプをインバーター式にすることでCOP改善可能
- 赤字 適用不可、下水の熱が融雪面積に対して不足 (COP10以下)

図 V-13 融雪負荷 100W/m² 想定 (新潟市等) の採熱延長

3. 実証研究成果まとめ

本研究成果をまとめると表 V-7 のとおりとなり、事業性で目標としていた LCC および COP の達成のほか、当初想定していた革新的技術の性能についても目標どおり達成することができた。

表 V-7 本研究における事業と各革新的技術の目標達成状況

評価対象		既存技術での計算・設計値と 実証施設での目標値	研究結果	達成 状況*
事業性	LCC (総費用)	従来技術から 10%以上の縮減 ※ボイラ利用と比較	12.9~26.4 %	◎
	COP	目標：10 以上	全期間平均 13.9	◎
革新的技 術の 性能評価	①高熱性能 採熱管 の採用	・既存技術での計算値 総括熱伝達係数 70 W/m ² °C ・実証施設での目標値 総括熱伝達係数 90 W/m ² °C (従来採熱管から 30%の向上)	総括熱伝達係数 約 94.6 W/ (m ² ・°C) (35%の向上)	◎
	②高熱性能 舗装 の採用	・既存技術での設計値 総括熱伝達係数 15.0 W/m ² °C ※実埋設深度、実熱効率 1 での値 ・実証施設での目標値 従来舗装から 30%の向上	総括熱伝達係数 約 21 W/m ² °C (40%の向上) ※実施工深度で 比較した場合	◎
	③片押し 方式の 効率的な 熱交換	・既存技術での計算値 20.4 kW ・実証施設での目標値 25.5 kW (折返し方式比 25%採熱量向上)	採熱量 28.4 kW (40.9%の向上)	◎
	④遅い熱源水 流速での 電力負荷 低減	・既存技術での計算値 5.5 kW のポンプ負荷 ・実証施設での目標値 2.5 kW 未満のポンプ負荷 (融雪必要熱量 25.5 kW)	2.2 kW の ポンプ負荷 (60%縮減) ※COP10 達成寄与	◎

※◎：達成、×：未達成