

低環境負荷型ロードヒーティング用不凍液の開発

富田 和彦, 白土 博康, 佐々木雄真, 高野 明富,
三津橋浩行, 長野 伸泰, 山越 幸康, 水谷 増美*,
嵯峨崎明宏*, 戸塚 光春*

Development of Low Environmental Loading Antifreeze Solution for Road Heating

Kazuhiko TOMITA, Hiroyasu SHIRATO, Takema SASAKI, Aketomi TAKANO
Hiroyuki MITSUHASHI, Nobuhiro NAGANO, Yukiyasu YAMAKOSHI
Masumi MIZUTANI*, Akihiro SAGASAKI*, Mitsuharu TOTSUKA*

抄 録

エチレングリコール系不凍液の代替として、酢酸カリウムを主成分とするロードヒーティング用不凍液を試作し、環境に対する影響評価、配管材との適合性、及びロードヒーティングとしての性能全般を評価するフィールド試験を行った。

その結果、酢酸カリウム不凍液はグリコール系不凍液よりも生分解性が速く、環境への影響が少ないこと、また亜鉛とはんだを除き、各種配管材との適合性、とりわけ銅管溶接に使われる軟ろうに對し防食性のあること、さらに融雪性能、路盤温度、循環流量など必要な機能を有しており、ロードヒーティング用不凍液として使用できることを確認した。

キーワード：不凍液，ロードヒーティング，生分解性，腐食

Abstract

As a substitution of ethylene glycol, the antifreeze solution for road heating which made of potassium acetate to be main component was developed. In this report, corrosion test for various piping materials, operation test using actual road heating systems and biodegradable test were carried out, in order to clarify the applicability of this solution to road heating systems.

The new antifreeze solution for road heating confirmed that the biodegradability was rapidder than that of the glycol antifreeze solution and that the environmental loading is small. And that potassium acetate antifreeze solution confirmed that there was the suitability with the piping material variously except for zinc and solder, and there was the anticorrosion for the soft solder used for the copper pipe welding especially, and so that having the necessary function as a antifreeze solution for road heating.

KEY-WORDS : antifreeze solution, road heating, biodegradability, corrosion

* ショーワ株式会社 * Showa Water Industries Co., Ltd.

事業名：民間等共同研究

課題名：低環境負荷型ロードヒーティング用熱媒体の開発

1. はじめに

現在、温水式ロードヒーティングにはエチレングリコール(EG)を主成分とする不凍液が多く使われているが、EGは人の中枢神経の麻痺、慢性の肝臓疾患の起因となる毒性を有することからPRTR法「化学物質排出把握管理促進法」の指定物質であり、環境省が行った環境リスク初期評価¹⁾の対象になっている。ロードヒーティングや地中採熱ヒートポンプなど地中埋設設備が急速に普及する中、地震等による配管からのEGの漏洩や廃棄による環境汚染は、後世に大きな問題を残すものと危惧される。地中埋設設備における不凍液の規制に関しては、欧州では日本より10年以上進んでおり、EGは一般的に使用されることはなく、特に、ドイツ、オーストリア政府では、法律でその使用が禁止されている^{2, 3)}。

このような状況を背景に、EGの代替として、酢酸カリウム(KAc)を主成分とする安全で環境汚染の少ないロードヒーティング用不凍液を開発した。本報では、このKAc不凍液について、グリコール系でもPRTR法に該当しないプロピレングリコール(PG)系不凍液を主たる比較対照に、環境に対する影響評価試験、配管材との適合性試験、ロードヒーティングとしての性能全般を評価するフィールド試験を行ったので、これらの結果について報告する。

2. 供試不凍液

試験に用いたKAc不凍液は、開発当初のもの(記号：KAc_ver1)と耐軟ろう用として改良したタイプ(記号：KAc_ver2)の2種類、比較対照に市販品のPG⁴⁾とEG⁵⁾のグリコール系不凍液を使用した。ただし、濃度は使用温度を考慮して決められるため、ロードヒーティングで通常用いられる-25の凍結温度のものを選定した。これら不凍液の主な仕様を表1に示す。

表1 供試不凍液の主な仕様

記号	主成分	濃度		凍結温度	外観
		wt%	mol/L		
KAc_ver1	酢酸カリウム	30	2.65 [*]	-25°C	赤
KAc_ver2					赤
PG	プロピレングリコール	45	5.85		緑
EG	エチレングリコール	40	6.38		赤

^{*}主成分を酢酸16wt%として換算

3. 環境に対する影響評価

3.1 性状分析

KAc不凍液の環境に及ぼす影響を把握するため、pH、BOD(生物化学的酸素消費量)、COD(化学的酸素消費量)、及びTOC(全有機体炭素)を測定した。

3.1.1 測定方法

BODは、植種液に工業試験場排水上澄み液を使用し、BODテスター(タイテック^株200F)で測定した。CODは、JIS K0102⁶⁾の工場排水試験方法に準拠し、100における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量(COD_{Mn})を測定した。またpHの測定には、東亜ディーケーケー^株HM-60GのpHメーターを使用した。

3.1.2 測定結果

結果を表2に示す。KAc(Ver1, Ver2)は、BOD、COD_{Mn}、TOCのいずれの項目においても、グリコール系より小さく、特にCOD_{Mn}は十分の一未満であり、環境中に排出された場合の負荷は低いことが分かった。pHについては、PGのみが中性、他は弱アルカリ性を示した。

表2 供試不凍液の性状分析

試料	KAc_ver1	KAc_ver2	EG	PG
BOD (mg/L)	200,000	190,000	300,000	470,000
COD _{Mn} (mg/L)	22,000	21,000	410,000	310,000
TOC (mg/L)	95,000	98,000	160,000	220,000
pH	8.4	8.7	8.5	7.2

3.2 生分解性試験

3.2.1 測定方法

主成分濃度が1mmol/L、植種液濃度が懸濁物質濃度として1mg/Lとなるように蒸留水(酸素飽和)で全量200mLに調整した。これにBOD測定用無機栄養塩A液、B液、C液、D液を各々0.2mL添加した後、BODテスターにより20で7日間培養し、酸素消費量の経時変化を測定した。また、開始時と7日後のTOC濃度を測定し分解率を求めた。なお植種液には、札幌市創成川下水処理場返送汚泥由来の活性汚泥を用いた。

3.2.2 測定結果

結果を図1、表3に示す。KAc不凍液はPG、EGなどのグ

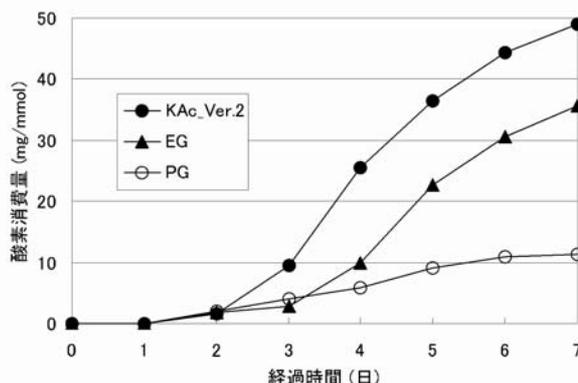


図1 酸素消費量の経時変化

リコール系不凍液より酸素消費量の増加が速く、TOCの分解率も高かった。PG、EGは化審法(化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律)の既存化学物質の安全性点検において良分解性とされているが、KAcはさらに分解性が良好であり、環境に対する負荷が低いと判断できる。

表3 TOC分解率

被験物質	KAc_ver2	EG	PG
開始時 (mg/L)	37.0	24.7	37.4
7日後 (mg/L)	6.9	7.3	29.0
分解率 (%)	81.3	70.6	22.6

4. 配管材との適合性試験

配管材との適合性を調べるため、(1)JISに準じた金属腐食性試験、(2)銅管溶接に使われる軟ろうを対象とした循環腐食試験、及び(3)フィールド試験における配管内からの金属溶出試験を行った。なお、フィールド試験結果については5.4項で記述する。

4.1 金属腐食性試験

4.1.1 試験方法

試験は、JIS K2234⁷⁾にある金属腐食性試験に準じ、表4に示すCase 1 ~ Case 4 について、温度88 ± 2 °C、時間336 ± 2 hの条件で行った。供試不凍液は、Case 1 がPG、Case 2、3 がKAc_ver 1、Case 4 がKAc_ver 2である。

Case 1、2では、試験片にJISが規定するアルミニウム鋳物、鋳鉄、銅、黄銅、はんだ、銅の他、白ガス管を想定し亜鉛片(Cu0.3 ~ 0.5 ; Pb < 0.02 ; Cd < 0.02, Fe < 0.01 ; Zn残)を加えた。またCase 3、4では、青銅鋳物(Cu83 ~ 87 ; Sn、

Zn、Pb 4 ~ 6 ; Fe < 0.3 ; P < 0.5)と軟ろう(Ag3.2 ~ 3.8 ; Pb 0.1 ; Sn残)を試験片とした。試験液はJISに記載されているように、供試不凍液をJIS調合水で30vol%にする方法を取らず、希釈済みの供試不凍液をそのまま使用した。

4.1.2 試験結果

結果を表4にまとめて示す。また、Case 1 ~ Case 4の試験後における試験片の外観を図2 ~ 図4に示す。

PG(Case1)は試験後の液相に変化が見られたが、質量、pH値等の変化はJIS規定(2種:年間を通じて使用できるもの)以内にあるなど金属腐食性は低かったのに対し、KAc_ver 1 (Case 2)では、はんだと亜鉛に大きな質量変化が見られ、これらの金属を腐食させることが分かった。

またKAc不凍液は、Case 3、4から、青銅鋳物に対しver 1、ver 2ともに腐食性は低く、軟ろうに対しては、ver 1は腐食性が高く(質量変化: -17.74 mg/cm²)、改良後のver 2は質量変化が -1.38 mg/cm²に減少するなど耐食性が大きく改善されているのが分かる。しかし、同じ溶接材料

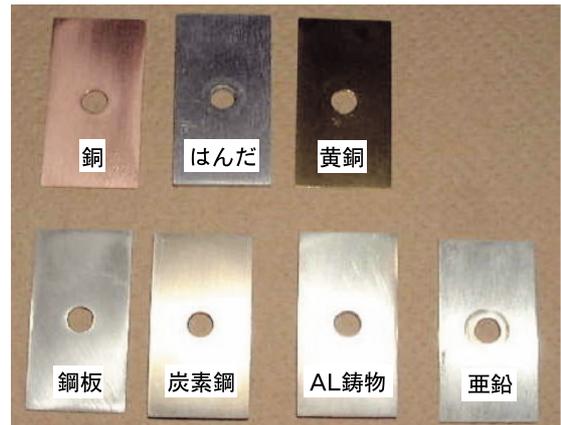


図2 試験後の試験片外観(Case1: PG)

表4 金属腐食試験の結果

質量変化の単位: mg/cm²

実験名 供試不凍液		Case1 PG			Case2 KAc_ver1			Case3 KAc_ver1			Case4 KAc_ver2		
試験片	基準値	質量変化	外観	判定	質量変化	外観	判定	質量変化	外観	判定	質量変化	外観	判定
金属腐食性	アルミニウム鋳物	±0.30	+0.02	異常なし	合格	-0.00	異常なし	合格	/	/	/	/	/
	鋳鉄	±0.15	+0.04	異常なし	合格	+0.02	異常なし	合格					
	鋼	±0.15	+0.01	異常なし	合格	-0.01	異常なし	合格					
	黄銅	±0.15	-0.04	異常なし	合格	-0.08	全面腐食	合格					
	はんだ	±0.30	-0.24	異常なし	合格	-9.71	全面腐食	不適					
	銅	±0.15	-0.06	異常なし	合格	-9.03	異常なし	合格					
	亜鉛	-	-0.03	異常なし	-	-52.14	著しい腐食	-					
	青銅鋳物	-	-	-	-	-	-	-					
軟ろう	-	-	-	-	-	-	-	-0.12	異常なし	-	-0.29	異常なし	-
								-17.74	全面腐食	-	-1.38	全面腐食	-
試験後の性状	pH値	6.5~11.0	7.6	合格	10.8	合格	8.9	合格	9.0	合格			
	pHの変化	±1.0	+0.3	合格	+2.1	不適	+0.2	合格	+0.1	合格			
	予備アルカリ度の変化率%	報告	13.6%	-	-	-	2.5%	-	6.3%	-			
	液相	色は著しく変化がないこと。液は分離、ゲル発生などの著しい変化がないこと	黄色に変色	不適	茶褐色に変色	不適	変色なし	合格	変色なし	合格			

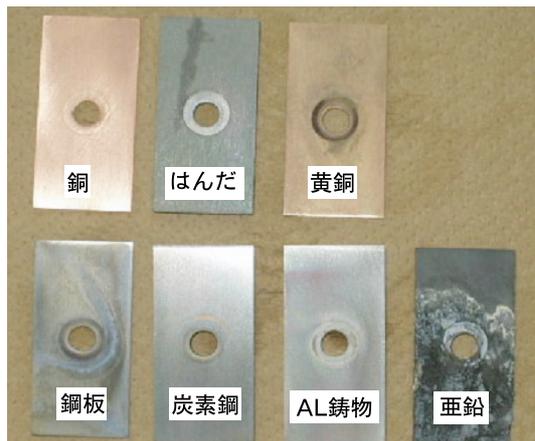


図3 試験後の試験片外観 (Case2 : KAc_ver1)



Case3 : KAc_ver1

Case4 : KAc_ver2

図4 試験後の試験片外観

として用いられるはんだの基準値 $\pm 0.30 \text{ mg/cm}^2$ (JISでは軟ろうを規定していない)は満たしていないことが分かる。

4.2 模擬システムによる循環腐食試験

前述のJISに準じた金属腐食試験は、自動車用を対象としたものであり、エアレーションや高温下(88)での曝露など、ロードヒーティングの使用環境を考えると過酷な条件と言える。そこで、軟ろうのより実際的な使用環境下での影響を調べるため、ロードヒーティングの模擬システムによる循環腐食試験を行った。

4.2.1 試験体

図5に示すように、古河電工株の銅管1/2インチ1,000mmを100mm毎に切断し、その両端を軟ろう(アサダ株製ソルダワイヤS (Sn96.1% ; Ag3.5%))で溶接し試験体とした。また、銅管の両端は銅製の1/2インチメスアダプターとし、その部分にも同様に上記の軟ろうで溶接した。溶接箇所は合計で20カ所、溶接に用いた軟ろうは合計5gである。



図5 軟ろうで溶接した試験体

4.2.2 試験装置

試験装置のシステム概要を図6に示す。試験体を含む循環腐食試験用ラインは、軟ろうの溶出挙動を把握する目的から、熱交換器を介して熱源側ラインと分離し、ステンレス継手、ステンレス・銅製プレート熱交換器等の耐食性金属材料及びPVC等プラスチック材料で構成した。通常のロードヒーティングシステムでは、黄銅、青銅鋳物等の継手材料を使用するのが一般的であるが、前述の金属腐食性試験の結果、腐食が懸念される亜鉛、鉛、錫を主成分とする材料は本試験用ラインに用いていない。

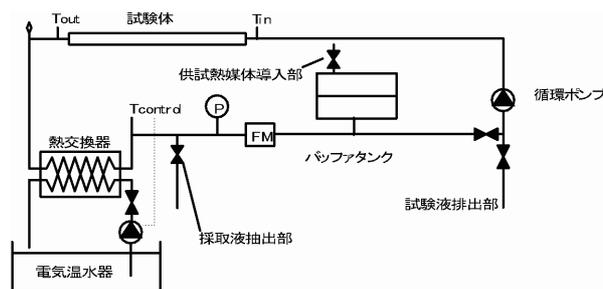


図6 模擬循環システム

4.2.3 試験方法

試験は、まず配管内に供試不凍液(KAc_ver 1, ver 2, 各5L, 5,875g (20))を入れ、熱交換器を介し、所定温度(試験体出入口平均温度: 60)、所定流量(2L/min)で循環させ、一定期間毎に採取(50g)し、ICP発光分光法により分析した。温度、流量は各々ステンレスシースT熱電対、渦流量計を用い、データロガーにより5min間隔で記録している。採取液の分析項目は、軟ろうの溶出挙動を把握するため、その主成分である錫を指標とした。また溶液の性状変化を捉えるため、pH、及び不凍液の耐久性を判断する目安として用いられる予備アルカリ度の変化率も分析項目に加えた。なお、循環腐食試験用ラインの液量が5Lと少ないため、採取後、新品の不凍液(50g)を図6の試験液導入部から加えている。

4.2.4 試験結果

試験開始から8週間後まで採取したver 1, ver 2の性状をそれぞれ図7, 図8に示す。この間の試験体液出入口平均温度、流量は、ver 1 測定時59.8 , 1.93L/min, ver 2 測定時59.4 , 1.96L/minであった。

ver 1, ver 2共に、試験直後から8週間後まで系内から液漏れは観測されなかった。ver 1では、採取液の錫濃度は1週間後にピーク値0.66mg/Lを記録し、その後0.4mg/L程度で推移している。また、pH、予備アルカリ度は、初期値と比較してほとんど変化しなかった。一方、ver 2では採取液の錫濃度は8週間後まで検出されず(検出下限0.10mg/L)、はんだ溶出性が改善されている。また、pH、予備アルカリ度は、初期値と比較してほとんど変化しなかった。

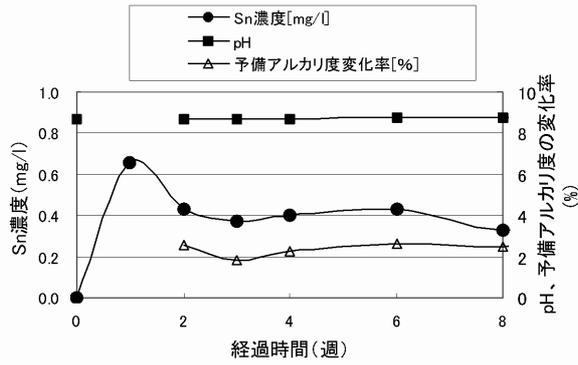


図7 KAc_ver1の性状変化

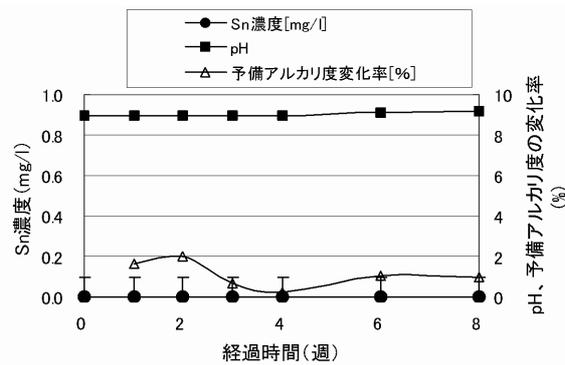


図8 KAc_ver2の性状変化

5. フィールド融雪試験

フィールド試験では、路盤温度や路面状況などの機能面、及び消費電力、燃料消費などの経済性を含めたロードヒーティング用不凍液としての全般的な性能を調べることを目的に行った。また、配管材との適合性試験の一環として、システムの配管内から不凍液に溶出する金属濃度を定期的に測定した。

5.1 ロードヒーティングシステムの概要

5.1.1 融雪路盤

試験に用いた2面の融雪路盤(L路盤, R路盤)は、面積が共に20m²(4m×5m)で、構造も等しく、厚さ60mmのコンクリート層に架橋ポリエチレンパイプ(13A)が150mmピッチで埋設され、表層は厚さ30mmのアスファルト層となっている。また、コンクリート層の下部に厚さ15mmのスチレンフォーム断熱材が敷設されている。配管も同一で、ヘッダーにより2系統(Aゾーン, Bゾーン)に分岐されている。

5.1.2 熱源及び制御方法

試験に用いたロードヒーティングシステムの概要(L路盤, R路盤共通)を図9に示す。熱源は、暖房出力6.4kWの循環ポンプ内蔵型FF式温水ボイラー(株)ノーリツ: OH-62YBL)であり、定格消費電力は点火時640W、燃焼時70Wとなって

いる。このため、設計用融雪負荷は320W/m²であり、温水温度は40~80 の範囲で設定可能となっている。本試験では60 に設定した。

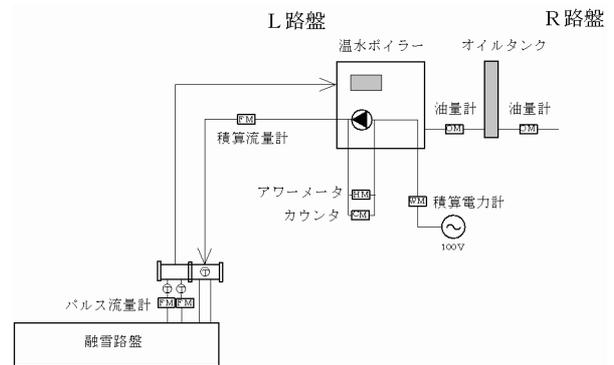


図9 ロードヒーティングのシステム概要

制御は、降雪センサー(北海バネ製スノーハンター: HBC-S3) 1台による自動運転となっている。運転開始は、L路盤, R路盤ともに外気温度が2 以下で、降雪センサーが水分を検知した際、同時にスタート(温水循環ポンプが作動)する。ただし、燃焼は約4分遅れて開始する。運転停止は、降雪センサーからの停止信号を受け、これより遅延タイマーの設定時間(L路盤, R路盤, 各々独立に設定可能、本試験では5分間に設定)経過後にボイラーの燃焼が停止する。ただし、温水循環ポンプは温水が一定温度以下になるまで(最大15分)運転を続ける。

5.2 試験方法

5.2.1 供試不凍液

供試不凍液として、L路盤にKAc_ver1, R路盤にPGを各々封入した。KAcとPGの物性値を比較すると、図10に示すように、KAcの粘度はPGの0.35~0.65倍(0~40)程度であることが分かる。この相違は循環ポンプの搬送動力に大きく影響するものと思われる。

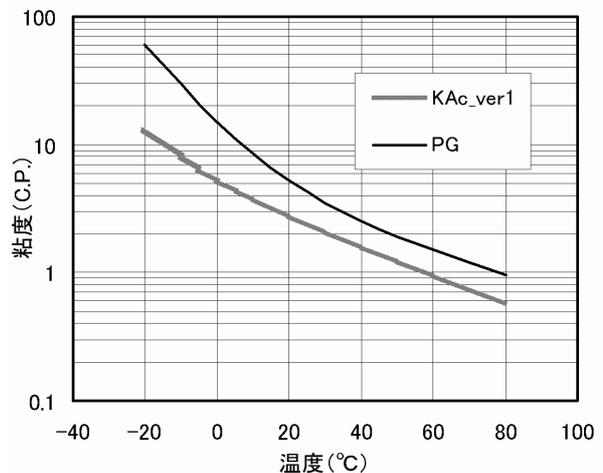


図10 供試不凍液の粘度比較

5.2.3 測定項目及び計測方法

測定項目は、図9に示したように、油量計、積算電力計、アワーメータ、カウンタ、積算流量計を設置し、ボイラー回りの灯油消費量、電力消費量、運転時間、発停回数、不凍液循環流量を測定した。また、放熱量を測定するため、配管経路内にパルス発信流量センサーとT熱電対を挿入し、データロガーを用いて不凍液流量、温度を1分間隔で測定した。この他、路盤温度として配管表面温度と配管間における路面温度、深さ30mm路盤温度、及び深さ90mmの路盤温度、及び監視カメラによる路面状況の観測、さらに気象データとして外気温度、日射量、風速、降水量を測定している。

5.2.2 試験期間

融雪試験は2シーズン行った。1シーズン目は、H15/11/16にシステム内へ供試不凍液を封入、試運転の後、H15/12/24に本実験を開始、翌年のH16/4/1に終了、測定日数は延べ99日であった。また2シーズン目は、H16/12/7に運転を開始し、翌年のH17/4/1に終了、測定日数は延べ115日であった。

5.3 試験結果

5.3.1 稼働状況

欠損データを除く全測定期間の結果を、L路盤(KAc_ver1)、R路盤(PG)を比較し、表5に示す。L路盤とR路盤の不凍液循環量に差が認められ、L路盤の方がR路盤より13%程度多いことが分かる。消費電力、燃料消費については、何れもL路盤の方がR路盤よりも2%程度小さな値を示すものの、有意差は認められない。

表5 フィールド融雪試験結果

測定期間	ボイラー積算電力		積算灯油消費量		積算不凍液循環量	
	Wh		L		m ³	
	L路盤	R路盤	L路盤	R路盤	L路盤	R路盤
2004/1/7~2004/4/1	27.61	28.02	81.1	83.2	56.814	50.403
2004/12/8~2005/3/30	50.46	50.96	198.7	199.9	135.940	120.764

5.3.2 代表日の運転状況

測定期間を通じ、比較的降雪の多かった2004/1/21と2005/1/9の結果を表6に、これら経時変化の詳細を図11、図12に示す。

(1) 不凍液流量

2004/1/21の流量変化を見ると、L路盤では運転開始(8:00頃)後1時間以内に流量が最大値(Aゾーン約4.0L/min、Bゾーン約3.7L/min)に達するのに対し、R路盤では4時間経過しても最大値に達していない。このため、日積算流量はL路盤3,046L、R路盤2,897Lで、その比率は1.05:

1である。2005/1/9もほぼ同様で、流量比率はL路盤とR路盤で1.17:1となっており、前述のシーズンを通じた測定結果(L路盤の流量がR路盤より13%程度多い)を裏付ける結果となっている。この理由として、配管内の摩擦抵抗は流体の粘度にほぼ比例することから、同一システム、等しい能力の循環ポンプを用いる本試験においては、図10に示したように、低粘度のKAcを用いたL路盤の方が高粘度のPGを用いたR路盤よりも摩擦抵抗が小さく、結果としてR路盤よりも流量が多くなったものと考えられる。見方を変えると、PGと同じ循環量になるような、より小さな能力の循環ポンプを選ぶことで、消費電力を少なくすることが可能となる。

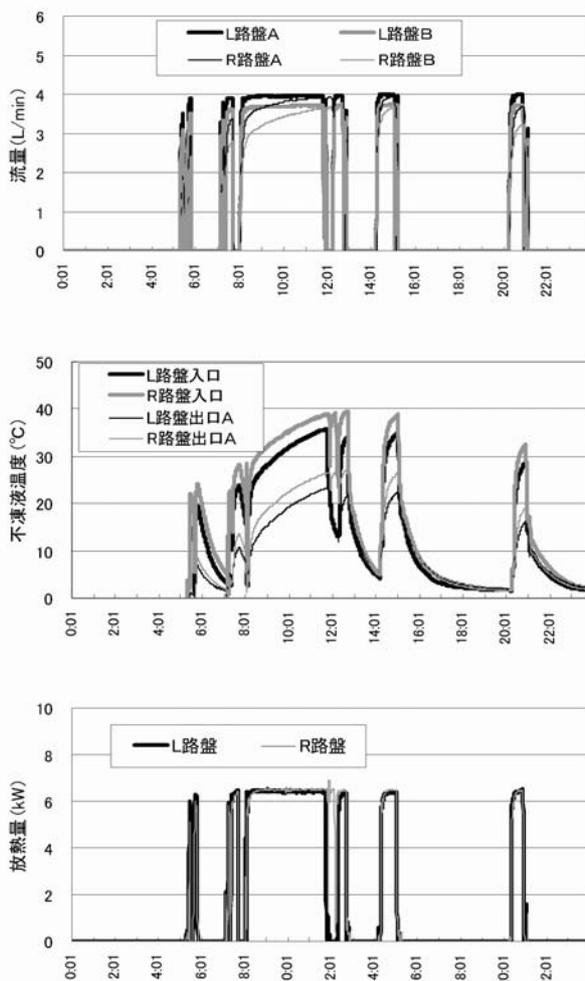


図11 2004/1/21の運転状況

表6 代表日の試験結果

試験日	路盤	流量計稼働時間		日積算流量			日積算放熱量		
		Aゾーン	Bゾーン	Aゾーン	Bゾーン	全体	Aゾーン	Bゾーン	全体
		hr	hr	L/d	L/d	L/d	kW/d	kW/d	kW/d
2004/1/21	L	6.98	6.98	1580	1466	3046	18.66	19.40	38.06
	R	7.43	7.47	1528	1370	2897	19.72	21.12	40.84
2005/1/9	L	3.78	3.78	879	814	1692	10.88	11.52	22.40
	R	3.78	3.78	765	677	1443	10.74	11.14	21.89

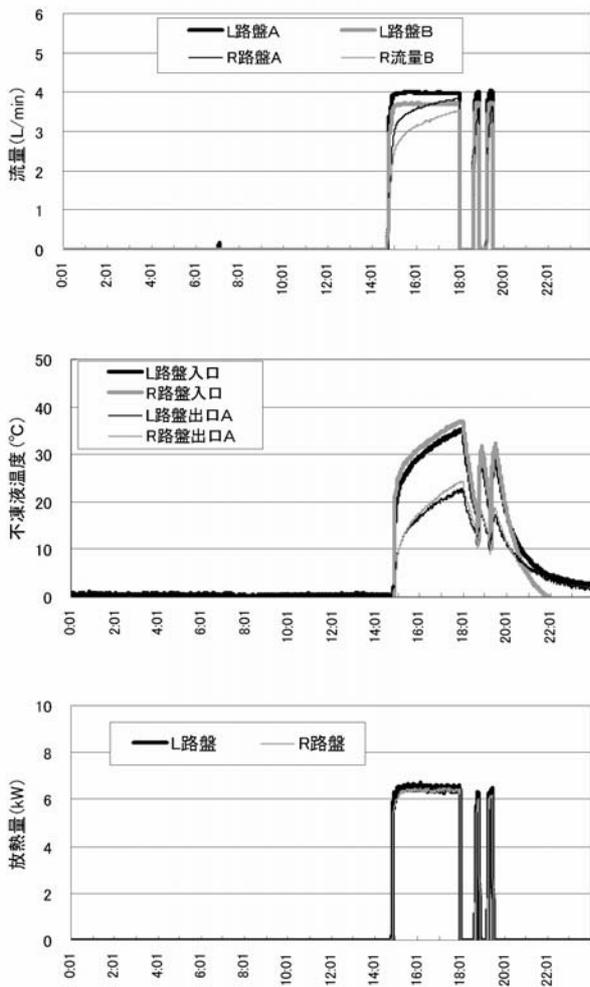


図12 2005/1/9の運転状況

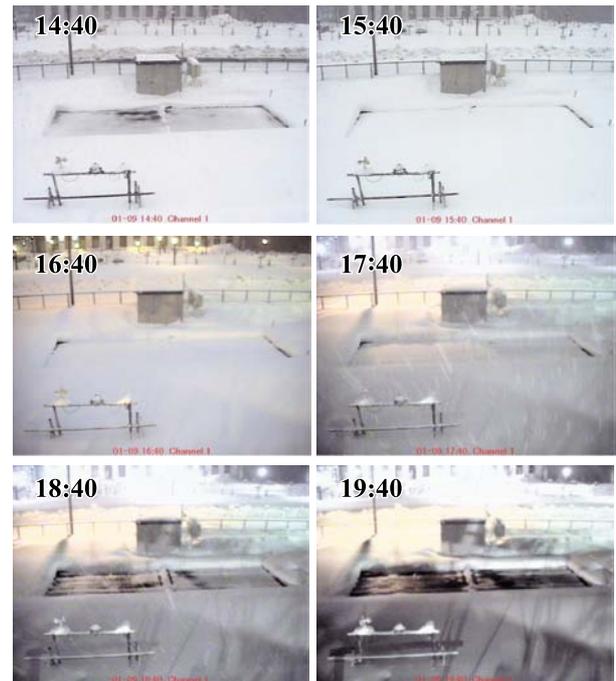
(2) 不凍液温度及び放熱量

不凍液の温度変化を見ると、不凍液温度はボイラーの運転と共に上昇しているが、R路盤の入口温度の方がL路盤の温度より高くなっている。また、両不凍液ともにボイラーの設定温度の60 に達しておらず、この間ボイラーは最大出力状態で運転していることが分かる。R路盤の不凍液温度の方が高い値を示す理由は、両路盤共に同じ熱出力のボイラーを使用し、L路盤の不凍液流量がR路盤よりも多いことによるためと考えられる。このことは、L路盤、R路盤の放熱量がボイラーの熱出力6.4kWにほぼ等しいことから判断できる。

(3) 路面状況

2005/1/9の降雪が始まる14:40から、降雪が終了したアスファルト路面が現れる19:40(5時間)までの路面状況を図13に示す。

路面の現れ方はL路盤の方がR路盤より若干速いように思われるが、特に有意差は認められない。この結果は、前述したように両路盤共に等しい能力のボイラーと循環ポンプを用



左：L路盤 右：R路盤

図13 2005/1/9の路面状況

いたためであり、放熱量の等しいことからも予想される。なお代表日に限らず、2シーズンに渡る測定期間を通じ、両路面は同様な状況を呈していた。

5.4 フィールドにおける金属溶出試験

5.4.1 不凍液の採取及び分析方法

L路盤、R路盤各々の配管内から不凍液を定期的に採取し、KAc_ver 1については硝酸と過塩素酸で、PGについては硝酸と硫酸で、各々分解処理した後、ICP発光分光分析を用いて成分分析を行った。分析項目は、錫、亜鉛、鉛、銅の4種類とした。

なお、本フィールド試験では既存のシステムを利用しているため、継手類や溶接材料の材質は不明であるが、一般的な黄銅、青銅鋳物、ステンレス、軟ろうが使用されているものと推測される。

5.4.2 分析結果

結果を、図14、図15に示す。PGでは鉛が検出されているが錫はほとんど検出されないのに対し、1シーズン目のKAc_ver 1は、鉛と錫が同様な上昇傾向を示し、運転休止期間中の10/26以降に採取した2シーズン目はその様相が大きく変化、鉛がPGのおよそ2倍、錫についても鉛の2倍程度溶出している。また、これらの金属については2シーズン目の運転期間中は濃度にそれほど変化が見られないことから、休止期間中に溶出が進行したと思われる。

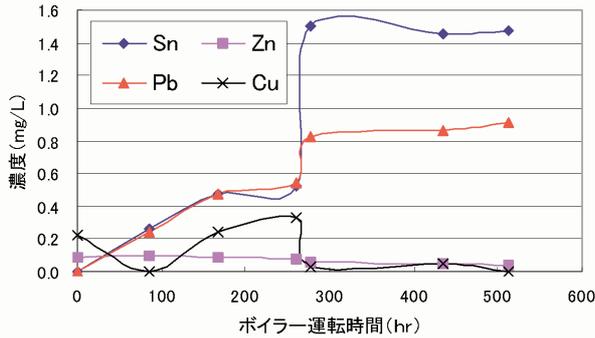


図14 金属溶出変化(KAc_ver1)

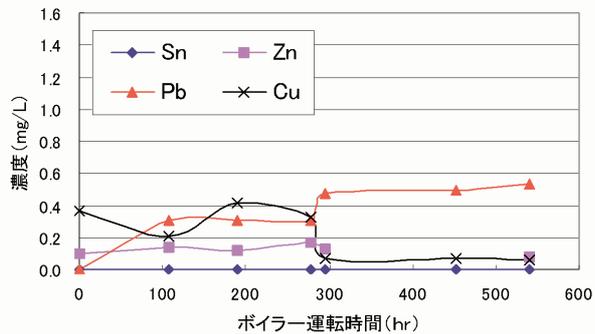


図15 金属溶出変化(PG)

6. まとめ

エチレングリコール(EG)系不凍液の代替として、酢酸カリウム(KAc)を主成分とするロードヒーティング用不凍液を試作し、環境に対する影響評価、配管材との適合性、及びロードヒーティングとしての性能全般を評価するフィールド試験を行った。以下に結果を要約する。

ロードヒーティング用KAc不凍液は、

- (1) BOD, CODはグリコール系不凍液より低く、また酸素消費量の増加が速く、分解率も高いことから生分解性が良好で、環境負荷の少ないことが確認された。
- (2) JISに準じた金属腐食性試験では、亜鉛、はんだ、軟ろうに対し高い腐食性を示した。また、軟ろうについては、改良後のKAc_ver 2において、防食性が大きく改善されていることが認められた。
- (3) KAc_ver 2による軟ろうを対象とした循環腐食試験では、2ヶ月経過後も錫が検出されず、腐食の進んでいないことが確認され、KAc_ver 2は実システムにおいても錫溶出はないものと予想される。
- (4) フィールド試験では、消費電力(ポンプ搬送動力)や燃費の面ではPGとの相違は2%未満であったが、循環流量がPGより13%程度大きく、送水温度は2~3程度低い

値を示した。これらは粘度の違いに起因するもので、路面状況について有意差は認められなかったものの、低温時において粘度の低いKAc不凍液の優位性を示すものと考えられる。また、地中熱ヒートポプシステムに使用した場合、作動温度を考慮すると、より大きな省エネ効果が期待できる。

謝 辞

本研究で使用したICP発光分光分析装置は、日本自転車振興会の補助により整備したものであり、関係各位に感謝いたします。

引用文献

- 1) <http://www.env.go.jp/chemi/report/h16-01/pdf/chap01/01.pdf>
- 2) <http://www.umweltbundesamt.de/wgs/index.htm>
- 3) http://www.on-norm.at/index_e.html
- 4) ショーワ(株)：技術資料「ショウブラインPP」(2001)
- 5) ショーワ(株)：技術資料「ショウブラインPE」(2001)
- 6) JIS K0102-1998 工場排水試験法
- 7) JIS K2234-1994 不凍液