

温水暖房システムの内面腐食に関する研究

－鉄製放熱器を含む温水暖房システム中における系内溶存酸素の挙動－

白土 博康, 保科 秀夫, 富田 和彦, 森本 茂樹

Study on Corrosion in Hot Water Heating System

－ Behavior of Dissolved Oxygen in Hot Water Heating System Including Steel Radiator －

Hiroyasu SHIRATO, Hideo HOSHINA, Kazuhiko TOMITA, Shigeki MORIMOTO

抄 録

腐食事例が多いと考えられる鉄製放熱器を含む住宅温水暖房システムを念頭に、腐食反応の主體的役割を果たしている系内溶存酸素の侵入源とその挙動を把握し、防食対策について検討した。その結果、システム形式は完全な密閉式が推奨されること、そのために自動エア抜き弁は、設置箇所の系内が負圧にならないように設置し、エア抜き後、エア抜き弁は閉じるのが望ましいことが確認された。また、酸素遮断層付きプラスチック管をメイン配管や床暖房配管に使用することはその低い酸素透過量から許容できると考えられる。

キーワード

溶存酸素, 腐食, 鋼板製放熱器, 密閉式, 自動エア抜き弁, 酸素遮断層付きプラスチック管

1. はじめに

温水暖房システムの腐食箇所は多岐にわたっており、特に配管、放熱器、ボイラー部で事故が多発している¹⁾。

その中で放熱器に関しては戸建て住宅、大型施設を問わず放熱器に鋼板製を使用するケースが多く、腐食事故の可能性は銅製より高いと考えられる。

鋼板製放熱器の典型的に見受けられる腐食形態として全面腐食、酸素濃淡電池²⁾、異種金属接触³⁾等の例がある。いずれの腐食も金属の電気化学反応の結果であり、金属が腐食(酸化)する時必ず還元反応が存在する。熱媒として直接、または不凍液の希釈水として使用する水道水には残留塩素が含まれているが、その濃度は低いのでほとんど腐食に関与せず、酸化剤として機能しているのは溶存酸素と考えられている⁴⁾⁵⁾。

運転開始後鋼板製放熱器の全面腐食反応によって系内の溶存酸素は消費されるが、半密閉式、開放式では、膨張タンクから酸素が侵入し腐食反応が進行し続けるため、鋼板製放熱器を使用する場合、密閉式を採用するよう指導されている⁶⁾。しかし、密閉式・開放式における系内溶存酸素の経時変化等を比較検証した例はほとんど見られない。

また、現実には密閉式と考えられているシステムにおいても溶存酸素が高濃度で検出されたり⁷⁾、腐食事故が起こる場合がある。その原因は、システムが完全な密閉回路になっていないこと、例えば鋼板製放熱器と床暖房プラスチック配管を同じラインで接合させているケース、半密閉膨張タンクを使用しているケース等が想定される。

そこで本研究では、温水暖房の腐食原因である系内溶存酸素の挙動と鋼板製放熱器への影響を把握するため、鋼板製放熱器を含む模擬的な温水暖房システムを製作し、一定期間温水(水道水または不凍液)を循環させ、密閉式、半密閉式(開放式)のシステム別による系内溶存酸素濃度の比較、試験前後の水質分析を行い腐食状況を評価した。またエア抜き不良によるエア残存の影響、その他の部材(自動エア抜き弁の設置、プラスチック配管の使用)による系内溶存酸素の腐食に対する影響とその挙動を把握し、防食対策について検討した。

なお、本研究では戸建て住宅における温水暖房システムを念頭に検討した。

2. 密閉式、半密閉式のシステム別による鋼板製放熱器の腐食実験

2.1 実験装置

製作した鋼板製放熱器を含む模擬的な暖房システムの概要を図1に示す。使用した鋼板製放熱器の保有水量は1.8l、系全体の保有水量は、密閉式で4.5l、半密閉式で5.8lである。熱源には電気温水器、熱交換器を使用した。システムは密閉式、半密閉式の両方の試験ができるように、それぞれの膨張タンク部をほぼ同一の高さに並列に組み、バルブでライン分けをした。使用材料は表1に示すように、鋼製の部材は放熱器、密閉膨張タンク部のみとし、その他の箇所はSUS316、SUS304、銅、黄銅等の各部材を使用した。メインラインは住宅で暖房用配管に使用されている建築用銅管を用い、溶接には軟ろうを使用した。

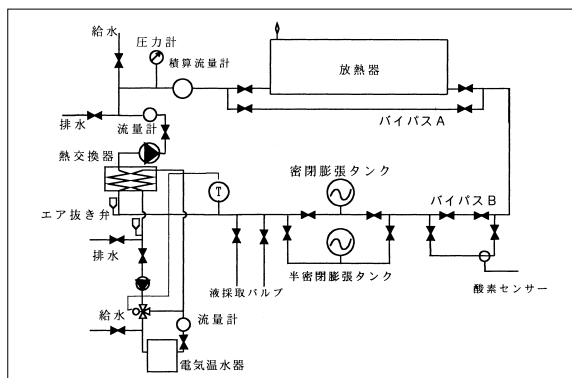


図1 模擬温水暖房システム

表1 システムの材質構成

場所	材質	備考
熱交換器	SUS316	小型プレート式
膨張タンク	鋼(密閉式)	
	PVC(半密閉式)	
循環ポンプ	SUS304	接続部は黄銅製
放熱器	鋼(JIS G3445, STKM)	表面積0.87m ²
メインライン	鋼(JIS H3300, CI220T)	建築用 外径15.9mm
チーズ等継手	黄銅, SUS304, 銅	
銅溶接部	軟ろう(銀3.5%)	フラックス使用

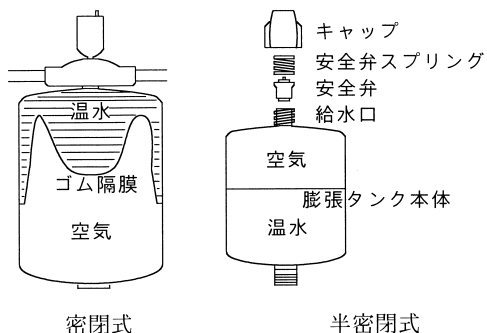


図2 膨張タンクの概要

今回使用した膨張タンクを図2に示す。密閉式はゴムの隔膜により空気と熱媒が直接触れない構造となっている。一方、半密閉式では空気層が存在し直接熱媒と接触する構造となっている。

溶存酸素計は東亜電波工業(株)製 DO-30A を使用した。この溶存酸素計は0.1mgO/l といった低濃度にも対応しており、以下のすべての実験に使用した。

2.2 実験方法

2.2.1 膨張タンク内の酸素溶解実験

半密閉膨張タンク内では空気層から系内に酸素が混入することが予想されるため、酸素溶解実験を行った。水張りに際して約70℃の熱媒を約3時間循環させ、エア抜きを数回繰り返した。この間、バイパスBを循環させた。水張り後、熱媒を約34℃恒温に制御して循環し、鉄製放熱器内の腐食反応により溶存酸素を消費させ、その濃度の指示値がほぼ0 mgO/lで安定した後、ラインを放熱器からバイパスAに切り替え、系内の溶存酸素濃度を測定した。なお、熱媒には水道水を用い、系内圧力は0.1MPaとした。

2.2.2 模擬温水暖房システムによる腐食実験

腐食実験は、放熱器に循環させる実験とバイパスを循環させるブランク実験をそれぞれ熱媒条件(水道水:以下水システム, 5 wt%防錆剤入り不凍液:以下不凍液システム), システム条件(密閉式, 半密閉式)を変化させて計8種類の条件で行った。実験条件を酸素溶解実験, 後述の防錆剤のっていないプロピレングリコール5 wt%(以下PG)半密閉式ブランク実験も含めて表2に示す。水張り方法, 熱媒温度, 系内圧力は酸素溶解実験と同様に行った。水道水を熱媒及び不凍液希釈水として使用した。不凍液は防錆剤が入った主成分がプロピレングリコール(以下不凍液)である市販品を用いた。また、その濃度は本システムの保有水量が少なく、予備試験で十分防食されていることが確認できたため5 wt%とした。なお、半密閉ブランク実験は比較のため、PGの実験も併せて行った。循環時間は約1ヶ月、ブランク実験で約1週間とした。放熱器は実験ごとに交換し、各実験は温水で十分にラインを洗浄後に行った。

表2 実験条件

熱媒	システム	通水条件	実験時間 (hr)	積算流量 (m ³)	平均流速 (l/min)	初期溶存酸素濃度 (mgO/l)
水道水	半密閉式膨張タンク 酸素溶解実験	ブランク	160.0	15.0	1.56	8.1
		密閉式	ブランク	191.7	15.9	1.38
水道水	密閉式	放熱器有	726.0	71.0	1.63	3.9
		ブランク	185.0	22.3	2.01	7.5
	半密閉式	ブランク	670.8	77.2	1.92	5.7
		放熱器有				
不凍液5wt%	密閉式	ブランク	187.0	21.5	1.91	6.3
		放熱器有	714.0	88.2	2.06	12.3
	半密閉式	ブランク	166.0	17.5	1.75	8.4
		放熱器有	744.4	88.7	1.99	8.0
PG5wt%	半密閉式	ブランク	281.1	23.5	1.40	12.3

2.2.3 評価方法

腐食状態の評価は、溶存酸素濃度の経時変化、温水循環後の全鉄等水質分析により行った。水質分析はJIS K0102に準じた。実験後の水の採取は、窒素ガスで熱媒をプラスチック容器にすべて追い出し、十分に混合したのち行った。

2.3 実験結果

2.3.1 膨張タンク内の酸素溶解実験

実験結果を図3に示す。この図から半密閉膨張タンク内の空気層から酸素が侵入することが確認された。密閉式膨張タンクでも同様の実験を行ったがこのような酸素濃度の上昇はみられなかった。

2.3.2 模擬温水暖房システムによる腐食実験

2.3.2.1 系内溶存酸素濃度の経時変化

図4に各システムにおける系内溶存酸素濃度の経時変化を示す。

A. 水システム

密閉式、半密閉式とも放熱器に熱媒を循環させた実験では溶存酸素計を設置しているラインに切り替えるとすぐに溶存酸素の指示値は0 mgO/lとなった。密閉式ではエア抜き時間中に放熱器の腐食反応によって溶存酸素はすべて消費したと考えられる。半密閉式では、銅板製放熱器の腐食反応による酸素の消費速度が図3に示した膨張タンク空気層から系内への酸素の溶解速度よりも速いため、溶存酸素濃度が見かけ上0 mgO/lになっているが、腐食反応は進行し続けていると予想される。

一方、密閉式ブランク実験では膨張タンクに鋼製の部分があるため、腐食反応が起こり酸素を消費したが、半密閉式ブランク実験では系内に腐食反応速度が速い部材が存在しなかったため、溶存酸素が系内に残存したと考えられる。

B. 不凍液システム

不凍液システムでは、ブランク実験においても溶存酸素は消費された。そこで、不凍液中に含まれる防錆剤の影響を調べるため、PG 5 wt%溶液で半密閉式ブランク実験を行った。溶存酸素濃度は、水システム半密閉式ブランク実験とほぼ同様の挙動を示し、系内に溶存酸素が残存した。このことから、放熱器の存在に係わらず防錆剤の作用（酸素共存下で金属上に被膜を形成、またはそれ自身の酸化劣化による酸素消費）により、系内溶存酸素が消費されたと推定される。

2.3.2.2 水質変化

実験前後の水質分析表を表3に示す。水システムでは、密閉式、半密閉式いずれも放熱器に循環させた実験で鉄の溶出が起こっており、特に半密閉式システムでの鉄の溶出が著しかった。この原因は、半密閉膨張タンクの空気層から常時酸

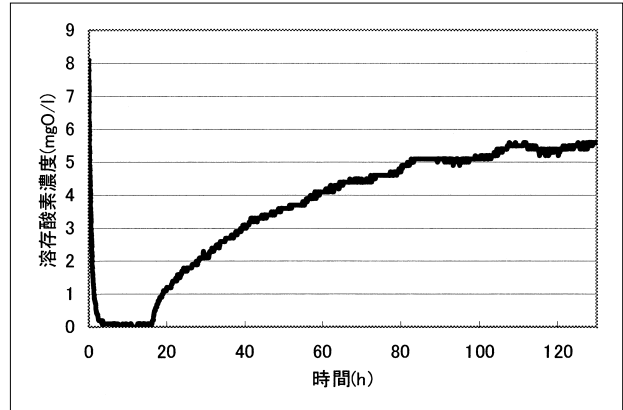
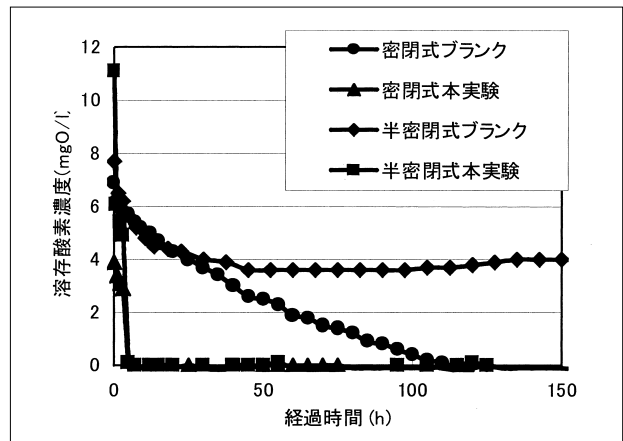
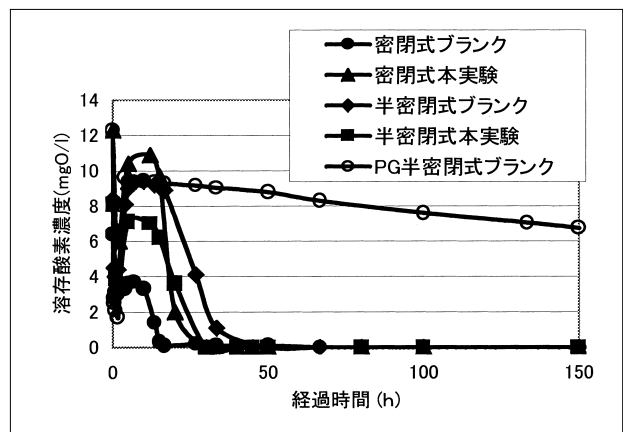


図3 系内溶存酸素濃度の経時変化 (半密閉膨張タンク内の酸素溶解実験)



A. 水システム



B. 不凍液システム

図4 系内溶存酸素濃度の経時変化

素が溶解し、銅板製放熱器上でただちに腐食反応が起こったためと考えられる(図5)。

鋼の全面腐食速度は、表面に鉄の酸化被膜が形成されるにつれ減少する⁸⁾。鉄の全面腐食速度が減少すると、系内に酸素が残存し、局部腐食を起こす危険性がある。また、半密閉

式の循環後の熱媒に含まれる鉄の含有量が密閉式に比べ多量であったことから、全面腐食によるポンプ詰まりも危惧される。このためシステム形式は密閉式が推奨される。

一方、不凍液システムでは密閉式、半密閉式いずれも水システムに比較して、鉄の溶出が低かった。また銅の溶出はほとんど起こっていないと考えられる。いずれも防錆剤の作用と予想される。pH、電気伝導度、全溶解固形物についても防錆剤の影響で高い値になったものと予想される。不凍液システムでは、半密閉式でも溶存酸素が消費され、水質も良好であった。しかし、半密閉式では酸素が侵入しやすいので、長期的には防錆剤の消耗が懸念される⁷⁾。

この結果を踏まえて以下の実験からは密閉式のみで行った。

表3 水質分析表

測定項目	密閉系水システム			
	プランク開始前	プランク終了時	開始前	終了時
PH(-)	7.0	6.4	6.9	6.0
電気伝導度(μS/cm)	124.8	118.0	107.8	128.8
カルシウム硬度(CaCO ₃ mg/l)	22.2	15.0	19.0	11.6
全鉄(mg/l)	0.6	21.6	0.2	23.7
全銅(mg/l)	0.1以下	1.7	0.1以下	1.6
全溶解固形物(mg/l)	78.0	79.0	78.0	79.0
測定項目	半密閉系水システム			
	プランク開始前	プランク終了時	開始前	終了時
PH(-)	6.0	6.3	6.2	6.2
電気伝導度(μS/cm)	126.2	127.9	141.8	149.8
カルシウム硬度(CaCO ₃ mg/l)	16.2	15.0	18.9	12.5
全鉄(mg/l)	0.6	1.0	0.6	138.5
全銅(mg/l)	0.2	0.4	0.1	0.3
全溶解固形物(mg/l)	79.0	72.0	93.0	95.0
測定項目	密閉系不凍液5wt%システム			
	プランク開始前	プランク終了時	開始前	終了時
PH(-)	8.4	8.1	8.5	8.9
電気伝導度(μS/cm)	1247	1269	1253	1219
カルシウム硬度(CaCO ₃ mg/l)	25.3	26.3	28.0	24.2
全鉄(mg/l)	0.2	2.7	0.6	0.8
全銅(mg/l)	0.1以下	0.2	0.1以下	0.1以下
全溶解固形物(mg/l)	2871	3037	2869	3481
測定項目	半密閉系不凍液5wt%システム			
	プランク開始前	プランク終了時	開始前	終了時
PH(-)	8.6	8.3	8.5	8.4
電気伝導度(μS/cm)	1237	1243	1207	1168
カルシウム硬度(CaCO ₃ mg/l)	27.1	25.9	23.8	26.2
全鉄(mg/l)	0.3	0.8	0.4	1.1
全銅(mg/l)	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下
全溶解固形物(mg/l)	3564	3237	3124	3005

3. 水張り時に混入した溶存酸素の挙動

実際の戸建て住宅温水暖房システムを想定し、保有水量を増やすため、ステンレスボイラーを貯湯槽として用いた。また膨張タンク部をはずし、新たにステンレス製の密閉膨張タンクを加えた(図6)。その結果保有水量は約50lとなった。この密閉式システムを用いて、水を熱媒(流量2l/min, 40℃)とし、2の実験と同様の銅板製放熱器1枚の腐食反応による溶存酸素消費速度を求めた。その結果、系内溶存酸素は半日程度で消費された(図7)。実住宅では放熱器が多数あること、系内温度が40℃よりも高いことから、10数時間以内で系内溶存酸素はほぼ0に近い値となることが分かった。すなわち密閉式では、外部からのエア溜まりや酸素侵入を防ぐことが防

食のポイントとなる。

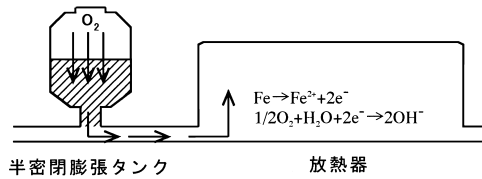


図5 半密閉膨張タンクから溶解した酸素の消費模式図

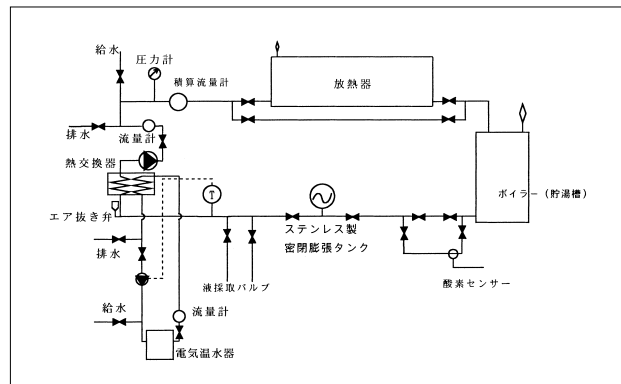


図6 模擬温水暖房システムII

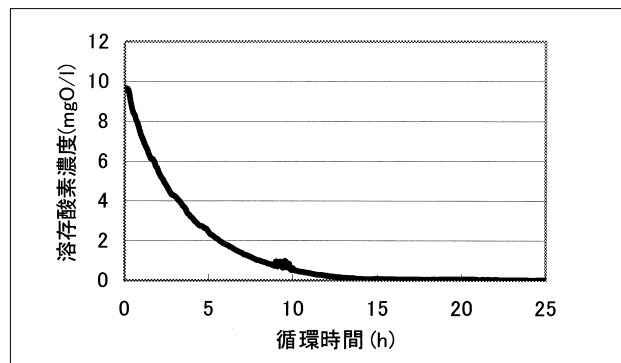


図7 系内溶存酸素濃度の経時変化

4. エア溜まりの影響と対策

4.1 エア溜まりの影響

飽和溶存酸素濃度(大気圧, 25℃)は約8 mgO/lなのでこれを気体の状態方程式に代入すると1lの水(大気圧, 25℃)に酸素は体積換算で最大約6 ml存在する。同様に窒素について計算すると、空気体積換算で合計17mlである。従って戸建て住宅の保有水量を60l、水圧を大気圧に対し0.05MPaとすると、最大0.7lのエアが水張り時溶解している。

一方、一箇所に0.7lのエアが溜まることは通常あり得ないが、水張り時に他にエア溜まりが存在すると、大きな酸素源となり得る⁹⁾ので注意が必要である。

4.2 自動エア抜き弁の影響

系内のエア残存を回避するために自動エア抜き弁の使用が考えられるが、設置箇所の系内が負圧になると逆に大気中のエアを吸い込むことがある¹⁾。そこで3の実験で使用した温水暖房システムの系内にエア吸い込み可視化用塩化ビニル管、自動エア抜き弁を(図8)、エア抜き弁付近に圧力計を設置した。使用したエア抜き弁の仕様は作動圧力0～0.3MPa、最高使用温度100℃、使用流体は水、又は不凍液である。実験は圧力を変動させてエア吸い込みを可視化してチェックした。その結果を表4に示す。正圧でも0.01MPaと低い圧力の場合、自動エア抜き弁からエアは吸い込まれた。通常はポンプ圧は0.05MPaと高く、自動エア抜き弁の設置箇所も圧力が高いところに設置されるが、熱媒の膨張収縮、漏水による圧力低下、施工上の都合もあるので、水張り後は自動エア抜き弁は閉じておくことが推奨される。



図8 自動エア抜き弁と可視化部

表4 自動エア抜き弁からのエアの吸い込みの有無

自動エア抜き弁付近圧力 (MPa)	エアの吸い込み
0.028	無
0.017	無
0.013	有
0.010	有

5. 酸素遮断層付きプラスチック配管の影響

近年施工の簡便性から、メイン配管に銅管の代わりに酸素遮断層付きプラスチック配管を使用する場合がある。また、プラスチック配管の床暖房配管と銅板製放熱器を同じ系統に接続させた場合、放熱器の腐食事故を起こす場合がある。この原因の一つに、プラスチック配管壁を通る酸素が液中に拡散することが考えられる。そこで、酸素遮断層付きプラスチック配管及び床暖房配管の外壁から暖房配管液中に溶解する酸素量を測定し、その影響を検討した。

5.1 酸素透過率の測定

5.1.1 測定方法

測定は、亜鉛で脱酸素した液をプラスチック配管に循環さ

せ、プラスチック配管前後の溶存酸素量×通水流量の差から酸素透過量を決定する方法で行った。測定装置の概要を図9に示す。溶液中の酸素の除去部に亜鉛メッキ鋼管を800mm、25A管(外径34mm)2本、500mm、15A管(外径21.7mm)を1本を使用し、その中に亜鉛の水酸化(溶液の脱酸素)反応の反応表面積を大きくするため、純亜鉛板を薄く削り取った切削状亜鉛を詰めた。亜鉛メッキ鋼管以外はすべてステンレスの部材を用いた。試験体であるプラスチック配管は25m又は50mとし、配管廻りを断熱材で囲った。試験温度は溶存酸素計通過時の液温が溶存酸素濃度指示値に及ぼす影響が大きいと考えられるため、配管入口、出口の平均温水温度を設定値±0.2℃程度となるように設定した。試験条件は循環流量が0.6～1.0l/min、系内圧力は0.1MPa、試験水には蒸留水を使用した。なお、今回測定に用いたプラスチック配管は、酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管3種類、通常の架橋ポリエチレン管2種類、架橋ポリブテン管2種類、架橋ポリプロピレン管1種類とした。酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管のうち2種類の内径はそれぞれ10mm、14.5mmであり、その他の管はすべて13mmのものを用いた。

5.1.2 試験結果と考察

試験結果を図10に示す。架橋ポリエチレン管、ポリブテン管、ポリプロピレン管の酸素透過率が5～15mgO/l・day(40℃)であったのに対し、酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管はいずれもDINの規定値¹⁰⁾0.1mgO/l・day(40℃)以下であった。

この0.1mgO/l・dayは水量1lあたりに相当する管を透過する酸素の量が1日に0.1mgであることを意味する。酸素透過量は単位配管長さ当たりで計算する方が実用的であるから、内径13mmとして換算すると13.3μg/m・dayとなる。ここで実際の住宅を想定して、保有水量60l、配管長100m、暖房期間6ヶ月(180日)とすると、透過酸素量0.24g、マグネタイトFe₃O₄換算で鉄を最大0.63g、マグネタイトを0.87g析出させる。水張り時の溶存酸素濃度が8mgO/lであった時、系内に存在する酸素量は0.48gであるから、このパイプから透過した酸素量は水張り時に存在する酸素量の半分であり、その酸素透過量は許容範囲と考えられる。

一方、通常のプラスチック配管の酸素透過率を10mgO/l・dayとすると、マグネタイトを最大87g析出することとなり、この配管をメイン配管に使用することで事故を起こす危険性が高くなる。また、床暖房プラスチック配管と鉄製放熱器を同一回路に使用することを想定してみる。仮に居間に床暖房、その他寝室、廊下、台所等に放熱器を使用している場合、居間を12畳、1畳につきプラスチック配管の使用量を14mとし、プラスチック配管の酸素透過率を10mgO/l・day、暖房期間6ヶ月(180日)とすると、酸素透過量40.1g、マグネタイトを最大145.2g析出することとなり、床暖房プラスチック

配管と鉄製放熱器を同一回路で使用する場合も事故を起こす危険性が高くなる。この場合熱交換器等を使用し、別回路とする必要がある。

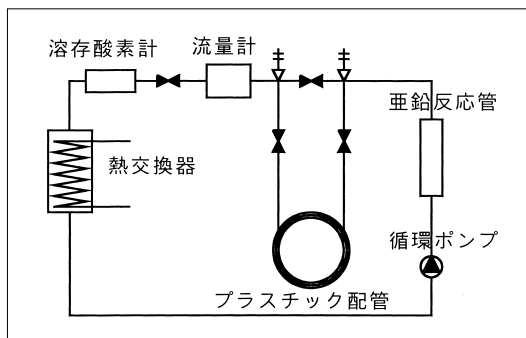


図9 プラスチック配管の酸素透過率試験装置

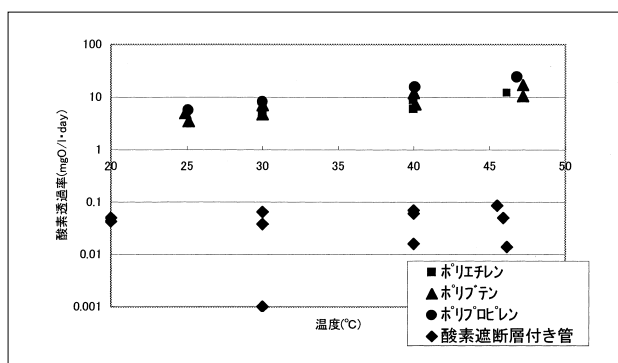


図10 各プラスチック配管の酸素透過率

5.2 プラスチック配管の酸素透過実証実験

5.1で行った試験の実証試験として、3で使用した温水暖房システムにプラスチック配管を組み込み、システム水を循環させ、その酸素透過量と影響を検討した。

5.2.1 測定方法

試験に用いた実験装置を図11に示す。試験を行ったプラスチック配管は、5.1で使用したプラスチック配管のうち、架

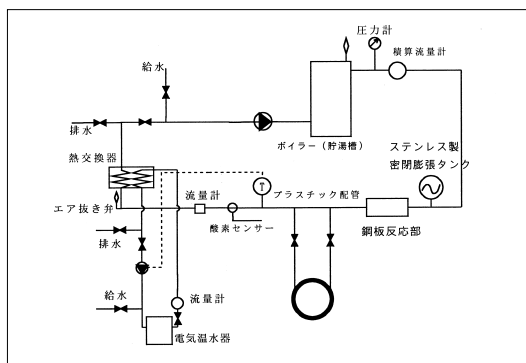


図11 プラスチック配管の酸素透過実証試験装置

橋ポリエチレン管(内径13mm)、酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管(内径10mm)を1種類ずつ選択した。そして、鋼板製放熱器のかわりに腐食量定量用鋼板試験片(SS400、75×150×1.6mm、7枚、1枚約135g、図12)を入れたステンレス製鋼板反応部(図13)をシステム中に設け、100m巻きのプラスチック配管を接合し、プラスチック配管平均温水温度を60℃として水道水を循環させた。その流量は1.6~1.7l/minであった。なお、鋼板試験片はエミリー研磨紙220番で研磨し、超音波中蒸留水洗浄、エタノール脱脂を行った後乾燥、秤量し試験に用いた。

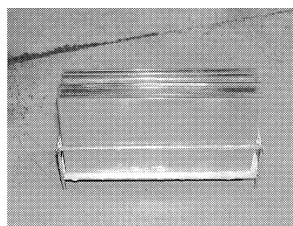


図12 鋼板試験片

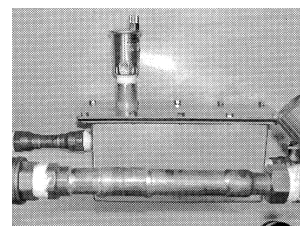


図13 鋼板反応部

5.2.2 評価方法

プラスチック配管の酸素透過量評価は、系内の溶存酸素濃度の経時変化、鋼板試験片の腐食反応による重量減少によって行った。試験後、鋼板試験片は速やかに超音波雰囲気中で蒸留水、エタノールによる酸化物除去、洗浄を行い乾燥後秤量した。

5.2.3 試験結果と考察

溶存酸素の経時変化、鋼板試験片の重量減少をそれぞれ図14、表5に示す。架橋ポリエチレン管の実験では、系内酸素濃度は2mgO₂/lで保たれているが、酸素遮断層付きプラスチック管及びブランク実験では、ほとんど0mgO₂/lとなっている。プラスチック配管において、外部からの酸素透過、系内熱媒への酸素の溶解の2段階の反応が起こっていると考えられるが、架橋ポリエチレン管を使用した場合、その全体の反応速度が鋼板試験片の腐食反応速度(酸素消費速度)とほぼ等しくなることが原因と考えられる。

一方、酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管の酸素透過は少なく、ブランク条件ではほとんどないため、腐食反応速度の方が速く、系内溶存酸素濃度は最終的にほとんど系内に残っていないと考えられる。

架橋ポリエチレン管と酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管の酸素透過量の差はそれぞれの試験時の鋼板試験片の重量減少の差にも現れている。ブランク試験時と酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管試験時の鋼板の重量減少の差はほとんどないがブランク試験時と架橋ポリエチレン管試験時の鋼板の重量減少の差は大きいことが確認できる。

5.1, 5.2の結果から酸素遮断層プラスチック配管は溶存酸

素の透過をよく防止していると考えられ、それをメイン配管や床暖房配管に使用することは防食の観点から許容できることが分かった。

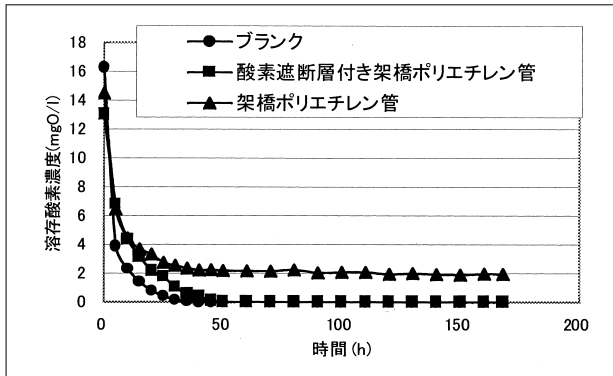


図14 溶存酸素濃度の経時変化

表5 試験片重量減少の比較

試験配管	合計重量減少量(g)
空白	1.51
酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管	1.91
架橋ポリエチレン管	4.54

6. 実住宅における実証試験

これまで各論として、密閉式システムの推奨、エア抜きの徹底、自動エア抜き弁の使用法、プラスチック配管の酸素透過量について述べてきた。

最後にこれらの各論を踏まえて、5.2の実験で使用した酸素遮断層付き架橋ポリエチレン管をメイン配管とし、鋼板製放熱器を使用した密閉式温水暖房システムを持つ実住宅において、溶存酸素測定ラインを施工し、1シーズン使用前後の水質、溶存酸素濃度を測定した。水質分析については2.2.3と同様の方法で行った。この住宅は2階建て住宅、床延べ面積が127.3m²である。温水暖房プラスチック配管及び鋼板製放熱器仕様を表6に示す。配管長120m、保有水量が62.3lと一般的な戸建て住宅の温水暖房システムである。システム水は水道水を用い、その初期溶存酸素濃度は5.87mgO/lであった。ポンプは1シーズン連続運転させその平均流量は3.89l/minであった。また、熱源の温水電気ボイラーの出湯温度は外気温度によって50℃～80℃に変化させた。

シーズン中2、3週間おきに測定を行ったが、この間特に腐食による漏水事故を起こした形跡はなかった。図15に溶存酸素濃度の経時変化、表7に試験前後の水質を示す。溶存酸素濃度は運転2週間後には0.3μgO/lと激減し、その後溶存酸素濃度はほぼ0.3～0.4μgO/lで維持された。

1シーズンだけの結果ではあるが、鋼板製放熱器を使用した住宅において、密閉を維持していれば系内の酸素濃度はほぼ0mgO/lになることが実際の住宅で検証できた。また、水

質検査から試験後の全鉄濃度は高かったが、初期溶存酸素濃度を考慮すると許容される濃度である。その他の項目では前回の水張りで使用した不凍液が若干検出されたものの試験前後は顕著な相違は見られなかった。

以上の結果を踏まえると、水道水、鋼板製放熱器を使用した密閉式温水暖房システムにおいて、溶存酸素濃度が高い時密閉が保たれている可能性は低い。その場合はシステムを再度チェックし直す必要がある。

表6 温水暖房システム配管及び放熱器仕様

配管長及び保有水量	
配管内径(m)	10 × 10 ⁻³
配管長さ(m)	120
配管保有水量(l/m)	0.076
合計保有水量(l)	9.1

放熱器の設置場所と保有水量	
場所	放熱器保有水量 (l)
リビング	6.6
ダイニング	7.0
和室	7.0
玄関	3.5
ホール	1.5
1Fトイレ	2.2
ユーティリティ	0.9
洋室1	2.2
	3.5
	3.5
洋室2	7.0
	7.0
2Fトイレ	2.2
合計	54.1

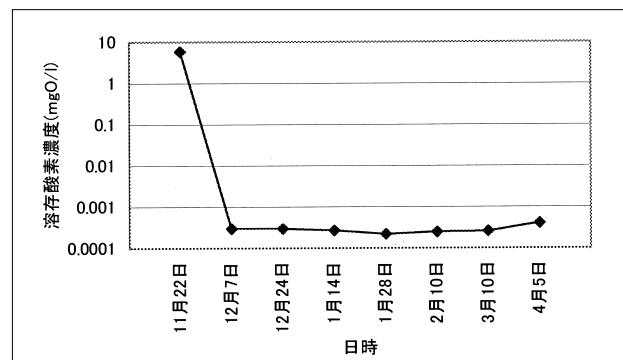


図15 実住宅における溶存酸素濃度の経時変化

表7 試験前後の水質分析結果

測定項目	使用前	使用后
不凍液濃度(wt%)	0	1
pH	7.5	7.9
電気伝導度(μS/cm)	115.3	269.0
カルシウム硬度(CaCO ₃ mg/l)	26.5	18.5
全鉄(mg/l)	0.2	7.5
全銅(mg/l)	0.2	0.2

7. 今後の課題

今回の研究で、熱媒を水道水とした場合、いくつかの事項を守れば、系内の溶存酸素濃度を下げ腐食を防止できること

を示すことができた。

今後の課題としては防錆剤が含まれた溶液中における金属腐食の挙動の把握とその対策、酸素が含まれる状態での孔食を再現しメカニズムを推定することが必要と考えられる。

また現場においては、温水暖房システムで腐食する箇所は鋼板製放熱器に限らず多岐にわたるうえ、必要な情報も曖昧になる場合があり、そのことが問題の解決を一層困難としている。今後は、化学プラントメーカーのように一定のフォーマットに基づいた腐食診断カルテを作成し、社内あるいは公共的にデータベース化することが事故対策、防止に役立つと考えられる¹¹⁾。

8.まとめ

温水暖房の腐食原因である系内溶存酸素の挙動と鋼板製放熱器への影響を把握するため、鋼板製放熱器を含む模擬的な温水暖房システムを製作し、一定期間温水（水道水または不凍液）を循環させ、密閉式、半密閉式（開放式）のシステム別による系内溶存酸素濃度の比較、試験前後の水質分析を行い腐食状況を評価した。またエア抜き不良によるエア残存の影響、その他の部材（自動エア抜き弁の設置、プラスチック配管の使用）による系内溶存酸素の腐食に対する影響とその挙動を把握し、対策について検討した。その結果、次の知見を得た。

- (1) 水システムにおいて、試験前後の水質から、半密閉式の方が密閉式より鉄、銅の溶出は著しかった。また半密閉膨張タンク内の酸素溶解実験から、半密閉式では膨張タンクから系内へ酸素が溶解していることが確認された。この酸素は、運転初期では鋼板製放熱器の腐食によって消費されるが、皮膜が形成され腐食速度が低下すると、系内に残存し、局部腐食に関与することが予想される。また全面腐食によるポンプ詰まりも危惧される。したがって水システムにおいては、経験則通り密閉式が推奨される。
- (2) 不凍液システムにおいて、密閉式、半密閉式ともに溶存酸素が消費され、水質も良好だった。この原因は防錆剤の作用によるものと推定される。今回の実験期間では半密閉式でも問題ないことが示唆された。しかし、半密閉式ではより酸素が侵入しやすいので長期的には防錆剤の消耗が懸念される。
- (3) 鋼板製放熱器を含み、熱媒が水である温水暖房システムにおいて、エアが残存しない状態では、スタートアップ時の溶存酸素消費速度は速く、実住宅では10数時間以内で溶存酸素は消費される。
- (4) エア溜まりは密閉循環系において大きな酸素源となり得る。自動エア抜き弁使用時は、設置箇所の系内が負圧または正圧でも0.01MPa程度の低い水圧になると逆に大気中のエアを吸い込むことがあるので水張り後は自動エア抜き

弁は閉じておくことが望ましい。

- (5) 酸素遮断層付きプラスチック配管は、その酸素透過率測定、酸素透過実証試験から、溶存酸素の透過をよく防止していると考えられ、それをメイン配管や床暖房配管に使用することは防食の観点から許容できると考えられる。一方、通常のプラスチック配管はメイン配管への適用、鉄製放熱器と同一の回路での床暖房配管としての使用においても事故を起こす危険性が高くなる。
- (6) 鋼板製放熱器を使用した住宅において密閉を維持していれば、系内の酸素濃度はほぼ0mgO/lになることが実住宅で検証できた。鋼板製放熱器、水道水を使用した密閉式温水暖房システムにおいて、溶存酸素濃度が高い時密閉が保たれている可能性は低い。その場合はシステムを再度チェックし直す必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたって、実験用に鋼板製放熱器、プラスチック配管を提供して頂いた各メーカーの皆様にご心からお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 八十島幸雄・鈴木憲三・釜田幹男・富田和彦・白土博康：温水暖房システムの設計・施工と維持管理の実態アンケート調査、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I, 313p., (1998)
- 2) 腐食防食協会編：材料環境学入門、丸善、(1993)
- 3) 腐食防食協会編：第14回技術セミナー資料「腐食を理解するための電気化学入門」、23p., (1997)
- 4) 藤井哲雄：設備配管における脱気防食法の適用、空気調和・衛生工学, 67, 773p., (1993)
- 5) 村田正廣、大内宗城、藤井哲雄、白石仁人、川人明美：水道水中における炭素鋼腐食に及ぼす溶存酸素濃度と流速の影響、材料と環境, 47, 326p., (1998)
- 6) 北海道住宅暖冷房換気システム協会技術テキスト, 46p., 1995
- 7) 白土博康・保科秀夫・森本茂樹：不凍液使用の現状調査（第1報）、北海道立工業試験場報告, 67p., (1997)
- 8) 森岡辰夫・山下礼二・佐藤茂：炭素鋼管の腐食に及ぼす諸条件の影響、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 277p., (1988)
- 9) 酒井康行：空調設備の腐食と防食, 13p., (1996)
- 10) DIN4726(1993)
- 11) 仁木宗・馬場文雄・鈴木紹夫：イントラネットを利用した材料腐食データベースの構築と活用、材料と環境, 48, 271p., (1999)