

欧州市場向け暖房給湯システム用 省エネルギー対策デバイス

飯島 茂* 南迫博和***
執行和浩** 鈴木一隆***
野田清治**

Energy Saving Device for Air To Water System in European Market

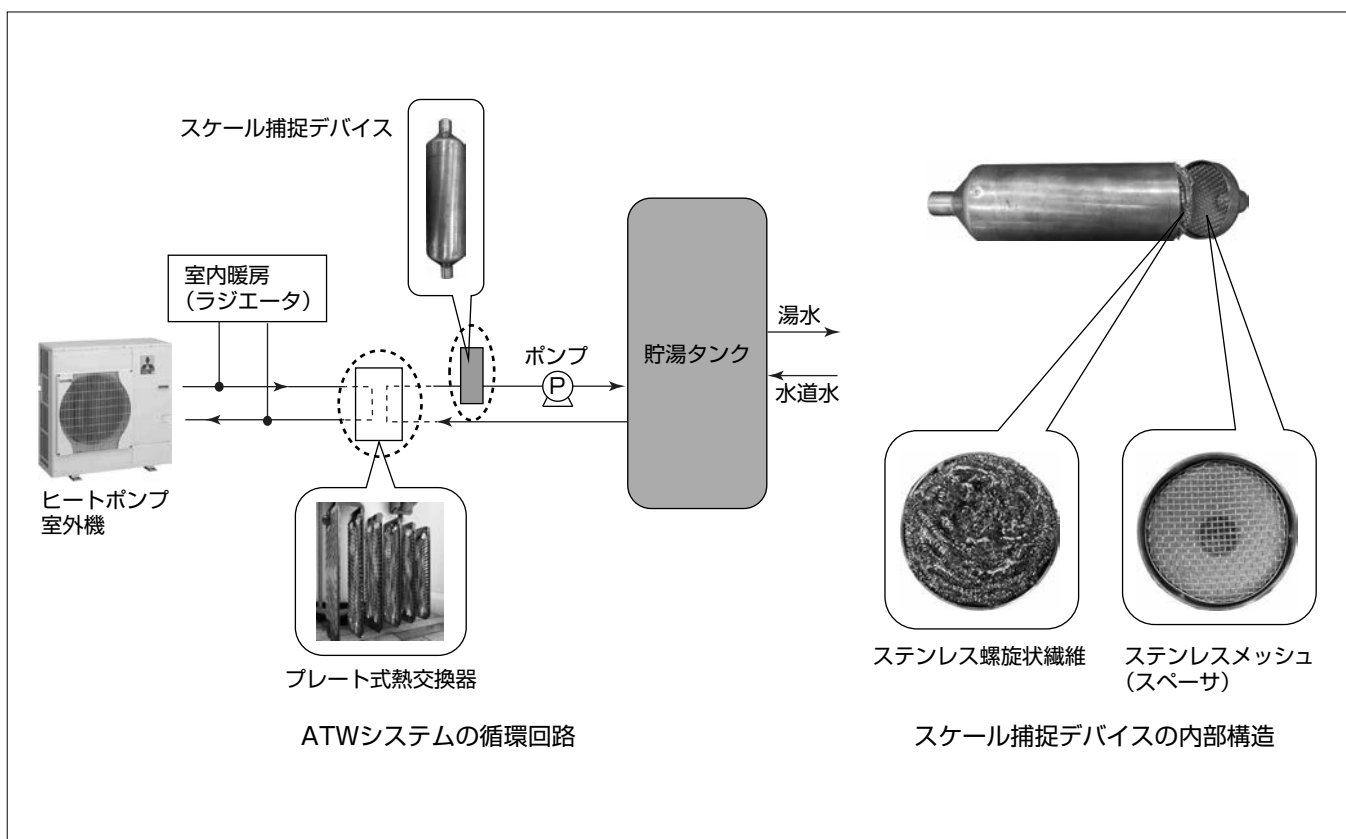
Shigeru Iijima, Kazuhiro Shigyo, Seiji Noda, Hirokazu Minamisako, Kazutaka Suzuki

要 旨

三菱電機の欧州市場向け暖房給湯システム“ecodan”はATW(Air To Water)システムと呼ばれる製品である。ATWシステムは、ヒートポンプ室外機を使用することで空気中の熱を高効率で熱エネルギーに変換し、この熱エネルギーを温水の沸き上げに使用するため、省エネルギーかつCO₂排出の少ない熱源として注目されている。

ecodanは、2014年製品から伝熱効率向上による省エネルギーとシステムコスト低減を目的として、加熱方法をコイルインタンク方式から、外付けプレート式熱交換器方式に変更した。ecodanの主要市場である欧州地域は水道水中のカルシウム硬度が高いことで知られ、プレート式熱交換器内部への炭酸カルシウムスケール付着による熱交

換効率低下が懸念される。そこで、炭酸カルシウムスケール(以下“スケール”という。)を効率良く捕捉し、プレート式熱交換器を保護する働きを持つ捕捉デバイスを開発した。このデバイスの形状は円筒容器で、その内部に螺旋(らせん)状のステンレス繊維を充填している。その繊維上に炭酸カルシウムの結晶を成長させ、水中のカルシウムを除去する。ecodanにプレート式熱交換器とスケール捕捉デバイスを導入した実証試験で、スケール全析出量の81%がこのデバイス内にとどまり、熱交換器へのスケール付着抑制効果を確認した。その結果、このデバイスを搭載したecodanを2014年に欧州市場に投入した。



スケール捕捉デバイス

スケール捕捉デバイスは銅管にステンレス螺旋状繊維を充填し、両端をステンレスメッシュで固定する構造を持ち、水道水内のスケール成分を内部に捕捉して成長させることで、プレート式熱交換器を保護する。スケール捕捉デバイスを搭載することで、欧州の高カルシウム硬度地域でも暖房給湯システムにプレート式熱交換器を導入することが可能になり、給湯性能向上による省エネルギーと原価低減に貢献した。このデバイスを2014年製品に搭載し、欧州市場に投入した。

1. ま え が き

当社は2007年から欧州市場向け暖房給湯システム ecodan を市場に投入した。ecodan はATWシステムと呼ばれる製品である。ATWシステムは、ヒートポンプ室外機を使用することで空気中の熱を高効率で熱エネルギーに変換し、この熱エネルギーを温水の沸き上げに使用するため、省エネルギーかつCO₂排出の少ない熱源として注目されている。

ecodanの主要市場である欧州の水道水は、日本の水道水に比べてカルシウム硬度が高い。そのため欧州では、暖房給湯システムの水道水流路へのスケール付着が日本より発生しやすい傾向にあり、熱交換性能の低下や圧力損失の増加が懸念される。

2014年以前のモデルのecodanでは熱交換器へのスケール付着による圧力損失の低下を防止するために、貯湯タンク内にコイル式熱交換器を持つコイルインタック方式が採用されていた(図1)。コイルインタック方式では、高カルシウム硬度の水道水がコイル式熱交換器の外側を連続的に流れるため、タンク内のコイル表面でスケールが成長する。しかし、コイル式熱交換器は貯湯タンク内部に設置されており、十分広い空間が確保されているため、スケール付着による熱交換器部分の圧力損失上昇の問題は発生しない。一方で、コイルインタック方式はタンク内の大量の水道水を同時に加熱するため伝熱効率が低く、さらにタンク内にコイルの設置が必要であることから、システムコストが高いという課題がある。

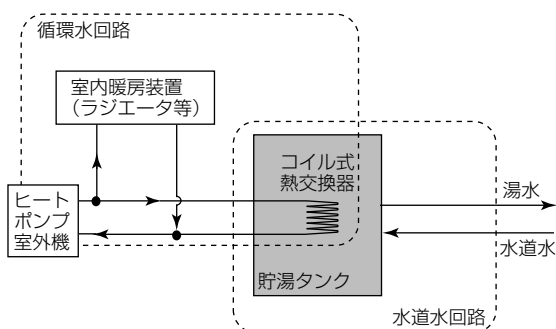


図1. 2014年以前のモデルのecodanの循環回路図

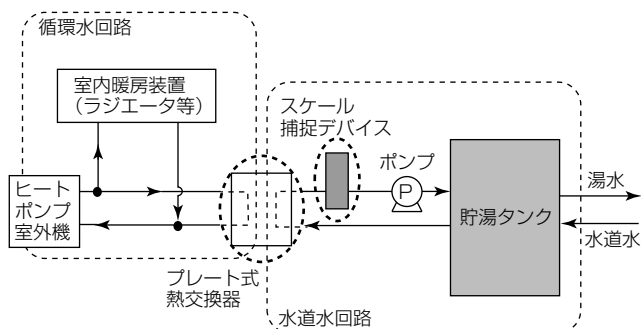


図2. 2014年モデルのecodanの循環回路図

これらの課題を解決するため、2014年のecodanのモデルチェンジで、給湯方式をコイルインタック方式から外付けプレート式熱交換器方式に変更した。外付けプレート式熱交換器方式は、プレート式熱交換器とポンプを設置し、プレート式熱交換器で貯湯タンク内の水道水を高温の循環水と熱交換させる方式である(図2)。プレート式熱交換器は伝熱効率が高く、コイルインタック方式と比較すると小型で、低コストである。一方でプレート式熱交換器はスケール析出によって伝熱面が覆われると、流路断面積が減少し、システムの圧力損失の増加によるポンプの故障といった不具合につながる可能性がある。

そこで、ecodanにプレート式熱交換器を導入するために、ATWシステム用のスケール捕捉デバイスを開発した。

本稿ではこのスケール捕捉デバイスの構造や、実証試験の結果について述べる。

2. スケール捕捉デバイスの設計

2.1 設計目標

スケール捕捉デバイスは①スケールが高効率で捕捉され、プレート式熱交換器へのスケール付着を抑制すること、②メンテナンスフリーであることの2点を設計目標とした。

新型ecodanは貯湯タンクに水道水をため、貯湯タンクの外に設置したポンプ、プレート式熱交換器、スケール捕捉デバイスを含む回路内に貯湯タンク内の水道水を約5回、合計1時間循環させ、加熱するシステムである。そこで、高温で析出しやすいスケールの特徴とプレート式熱交換器を含む回路内を複数回循環する新型ecodanシステムの特徴に着目し、スケール捕捉デバイスを設計した。

2.2 構造

スケール捕捉デバイスの構造を図3に示す。スケール捕捉デバイスは銅管を使用し、ecodanの配管径に合わせて入り口部分と出口部分を円すい台状に縮管し、ステンレス螺旋状繊維を捕捉材として銅管内部の円筒部分に充填した。さらに円すい台部分に捕捉材が入り込まないように、円状のリングの内側にステンレス製のメッシュを持つスペーサを設置した。またスケール捕捉デバイスは図に示すように垂直方向に設置し、水の入り口を下側、出口を上側とした。

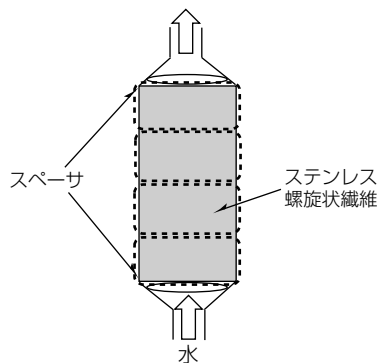


図3. スケール捕捉デバイスの構造

3. スケール捕捉デバイスのスケール捕捉メカニズム

開発したスケール捕捉デバイスのスケール捕捉メカニズムは次のとおりである。また図4にそのスケール捕捉メカニズムのモデル図を示す。

図4(a)に示すように、水中で析出したスケール粒子がスケール捕捉デバイスの中に入る。スケール捕捉デバイスに充填された捕捉材と衝突したスケール粒子は、捕捉材表面に付着する。捕捉材は三次元的な構造を持つ螺旋状繊維であり、螺旋部の開口径は5 mmである。そのため水中で発生するスケール粒子の粒子径(μm オーダー)より十分に大きい。よって螺旋部をスケール粒子が容易に通過可能であり、スケール粒子は場所によらず一定の確率で捕捉材に衝突すると考えられる。したがってスケール捕捉デバイスの入り口部分にスケール付着が集中することなく、図4(b)に示したように入り口から出口にわたって一定の確率で付着する。螺旋状繊維の開口径はスケール粒子より大きい。螺旋状繊維の螺旋部の向きは不規則であり、大部分のスケール粒子は通過するまでに螺旋状繊維に衝突して捕捉される。一部のスケール粒子は付着せずスケール捕捉デバイスから出るが、ecodanでは貯湯タンク内の水は熱交換器とスケール捕捉デバイスを含む流路を5回循環するため、ほぼ全てのスケール粒子がスケール捕捉デバイスに捕捉される。プレート式熱交換器もスケール捕捉デバイス同様、スケール粒子を含む水が5回通過することになるが、プレート式熱交換器は捕捉材のような障害物が置かれることなくプレート間にmmオーダーの流路が存在するだけであり、スケール粒子の衝突の可能性はスケール捕捉デバイスのそれと比べて十分低いと考えられる。さらにスケール捕捉デバイスをプレート式熱交換器の後段に設置したことで、システム内で最高水温となる水が流入することになる。この水が螺旋状繊維上に付着したスケール粒子の周りを通るため、図4(c)に示したように螺旋状繊維上に付着したスケールを起点として結晶成長が起こり、水中のスケール

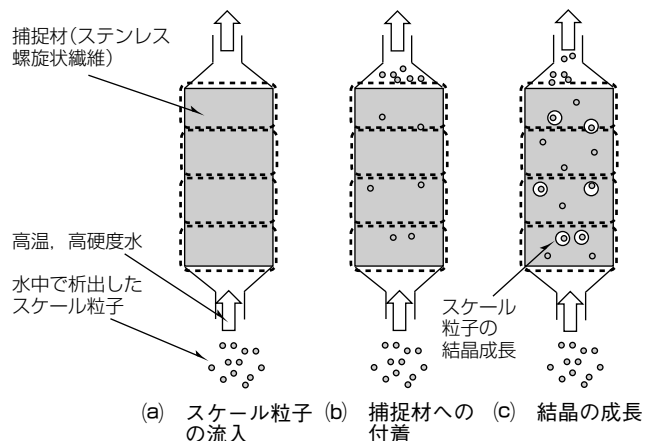


図4. スケール捕捉デバイスのスケール捕捉メカニズム

成分が効率良く捕捉されると考えられる。また螺旋状繊維が三次元的な構造を持つため、螺旋状繊維上で繊維に沿った結晶成長が生じることで三次元的に成長することになる。よってスケール捕捉デバイスの三次元的な構造全体を使用して、スケールを捕捉するため、スケール捕捉デバイス自体の閉塞を防止するとともに捕捉量を増加させる。

4. スケール捕捉デバイスの実証試験

4.1 試験方法

スケール捕捉デバイスの性能を評価するために、ecodan実機を用いた実証試験を行った。図5及び表1にそれぞれスケール捕捉デバイス実証試験の試験装置の概略図、試験条件を示す。試験装置はecodan実機にプレート式熱交換器、スケール捕捉デバイス、ポンプを貯湯タンクに接続した構成を持つ。また給湯回路とは別にバイパス回路を設置し、貯湯タンクに冷却用のファンコイル、模擬水製造装置、ポンプ、排水流路を接続した。バイパス回路は模擬水の調製、供給、及び冷却に使用した。

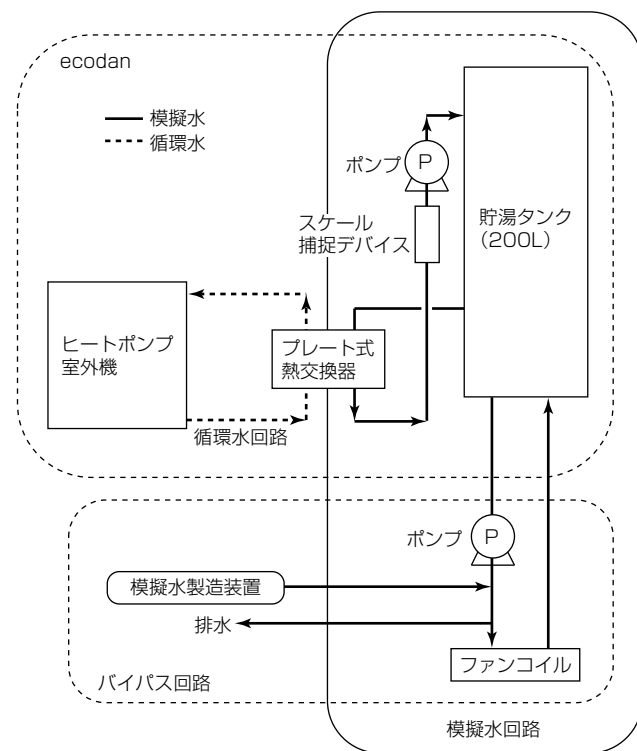


図5. スケール捕捉デバイスの実証試験装置

表1. スケール捕捉デバイスの実証試験条件

項目	値
模擬水量	200L
初期カルシウム硬度	350mg/L
初期Mアルカリ度	250mg/L
模擬水出湯温度	58℃
模擬水流量	16~18L/min
試験時間	340~1,100時間
模擬水交換頻度	1週間に2回

模擬水製造装置は200Lタンク、かくはん機、及びポンプによって構成した。模擬水は欧州水道水の水質を模擬し、目標水質をカルシウム硬度350mg/L、Mアルカリ度250mg/Lとした。この試験では時間経過とともに模擬水からスケールが析出するため、カルシウム硬度及びMアルカリ度が低下する。しかし、実際の使用環境では、高カルシウム硬度の水道水が随時追加され、カルシウム硬度、Mアルカリ度は変化しないことが想定される。そこで、模擬水の上記水質を維持するため、1週間に2回のペースで模擬水を新たに調製して交換した。また、模擬水の交換前後で水質を測定し、カルシウム硬度の変化量からスケールの析出量を計算した。

この試験の試験時間は340~1,100時間とし、試験後には、プレート式熱交換器とスケール捕捉デバイスへのスケール付着量を測定した。またスケール捕捉デバイス実証試験は、比較のためにスケール捕捉デバイスを設置しない条件でも試験を実施した。

ecodanの一般家庭での給湯運転は1日約1時間だが、スケール捕捉デバイス実証試験では1日24時間の連続給湯運転によってスケール析出を加速させ、最長で一般家庭での使用期間17年間に相当する実証試験を行った。

4.2 試験結果

スケール捕捉デバイスを使用した実証試験で、一般家庭での使用期間17年相当の試験を行った結果を次に述べる。

スケール捕捉デバイスに捕捉されたスケール量は全体で190gであり、充填した4個のステンレス螺旋状繊維に均等に付着した。一方、プレート式熱交換器へのスケール付着量は3gであった。システム全体のスケール析出量に対する熱交換器とスケール捕捉デバイスへの付着比率を図6に示す。なお、図中のその他は、スケールの全析出量からプレート式熱交換器とスケール捕捉デバイスへのスケール付着量を差し引いた値である。その他に該当するスケールの大部分は、給湯タンク内部、配管内部に付着したと考えられる。図から、システム全体のスケール析出量に対する付着比率はプレート式熱交換器の1%に対し、スケール捕捉デバイスは81%となった。これによって、スケール捕捉デバイスによってスケールの大部分が捕捉され、プレート式熱交換器へのスケール付着が抑制されたことを確認した。

スケール捕捉デバイス実証試験の試験時間に対するプレート式熱交換器へのスケール付着量の変化を図7に示す。なお図の横軸は、試験時間を一般家庭の使用期間に換算した値で示した。図に示すようにスケール捕捉デバイスを設置することで、プレート式熱交換器へのスケール付着速度を示すグラフの傾きは6.20g/yrから0.11g/yrと1/56に減少した。

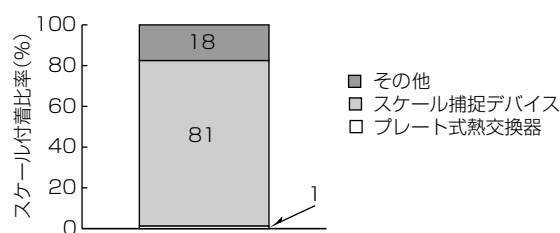


図6. 熱交換器とスケール捕捉デバイスへのスケール付着比率

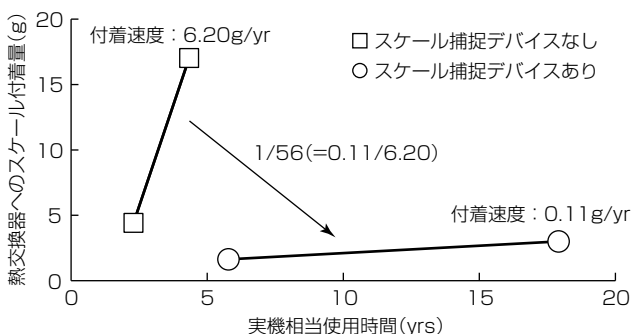


図7. スケール捕捉デバイスの有無による熱交換器へのスケール付着量の比較

この結果から、スケール捕捉デバイスを用いることで、スケールが高効率で捕捉され、プレート式熱交換器へのスケール付着を抑制するとともに、製品使用期間15年間についてメンテナンスフリー運転が可能であることが分かった。よって、2014年からプレート式熱交換器とスケール捕捉デバイスを搭載したecodanを欧州市場に投入した。

5. むすび

当社の欧州向け暖房給湯システムecodanの伝熱効率向上のため、加熱方式を従来のコイル状の熱交換器からプレート式熱交換器に変更した。プレート式熱交換器へのスケール付着対策として捕捉材を充填するスケール捕捉デバイスを開発した。

ステンレス螺旋状繊維を充填したスケール捕捉デバイスとプレート式熱交換器を用いてecodan本体を使用した実証試験で、スケール捕捉デバイスにはスケールの全析出量の81%が捕捉され、プレート式熱交換器へのスケール付着速度が1/56まで減少した。また、スケール捕捉デバイスは三次元的な構造を持つステンレス螺旋状繊維上でスケール粒子の結晶を成長させ、スケールを高効率に捕捉する効果があった。

これらの試験結果から、欧州の高カルシウム硬度地域でもプレート式熱交換器が正常運転できることを確認し、スケール捕捉デバイスとプレート式熱交換器を搭載したecodanの2014年モデルを欧州市場に投入した。