

優良省エネルギー設備顕彰事例①

新設設備部門 (財)省エネルギーセンター会長賞

流下液膜式凍結濃縮装置 [FREECIS]

設備所有者：京セラミタ(株) 玉城工場
設備施工者：新日本空調(株)

建物の概要

名称 京セラミタ(株)玉城工場
所在地 三重県度会郡玉城町野篠704-19
概要 建家 地上4階
延床面積 5,744m²
構造 S造
用途 工場

1. 技術開発の目的と経過

氷蓄熱装置は、電力の昼夜間負荷の平準化を目的として、昼間の冷房用熱源のために安価な夜間電力を使用して水を氷に相変化させて蓄熱するが、利用温度（7℃）に対して蓄熱温度（0℃）が低いことによる熱源機のCOPの悪化や、熱ロス等の理由のために省エネルギーな装置ではない。

一方、溶液が凍結する際に、水中には溶質が取り込まれず、溶液中に排除されながら氷結晶が成長する事が知られており、この自然現象を積極的に利用して、水溶液中から水分を氷として抜き取ることによって水溶液を濃縮していくのが凍結濃縮手法である。

そこで当社では、独自方式の流下液膜式氷蓄熱装置を利用して、溶液の凍結濃縮が可能な装置の開発を行った。その結果、本装置では従来の氷蓄熱装置の機能を保持しながら、排水を減容化することが可能となり、システム全体の省エネルギーを達成するとともに、省コスト、環境負荷低減にも貢献する。

次に本開発の原型である流下液膜式氷蓄熱装置、凍結濃縮技術について説明し、流下液膜式凍



建物外観

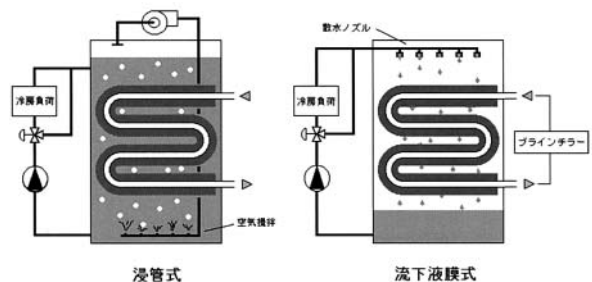


図1 浸管式と流下液膜式概念図

結濃縮装置の開発経過について説明する。

(1) 流下液膜式氷蓄熱装置

スタティック型のアイスオンコイル方式であるが、従来の浸管式と違い製氷コイルを水槽の上部、空中に設置しているところが構造的な特徴である。概念図を図1に示す。氷蓄熱槽内の空中に配置した製氷コイル表面に、槽頂部から散水した水が、コイル表面を液膜状態となって流れる過程で、製

氷および解氷を行う。この際の製氷コイルおよび氷の表面熱伝達率が、浸管式アイスオンコイル方式に比較して10倍程度大きいために、製氷および解氷特性に優れた氷蓄熱装置である。

10時間解氷でも、3時間解氷においてもその特性は変わらずに安定した低温度送水を可能としている。これが流下液膜式氷蓄熱装置の最大の特徴である。

納入実績は福岡県・小倉記念病院、沖縄県・安波ダム事務所、東京都・早稲田大学理工学部などである。

(2) 流下液膜式凍結濃縮装置

流下液膜式凍結濃縮装置の概要を図2に示す。本装置の基本構造は流下液膜式氷蓄熱装置と同様で、製氷コイル上部から散水を行い製氷を行う。この際、原水の90%を製氷することが可能なため、原水は10分の1まで濃縮減容される。流下液膜式凍結濃縮装置は、前進凍結法に分類され純粋な氷が伝熱面からゆっくり成長し、凍結界面に押し出された溶質分を上部からの散水によって洗浄することで清浄水を成長させる。(図3)

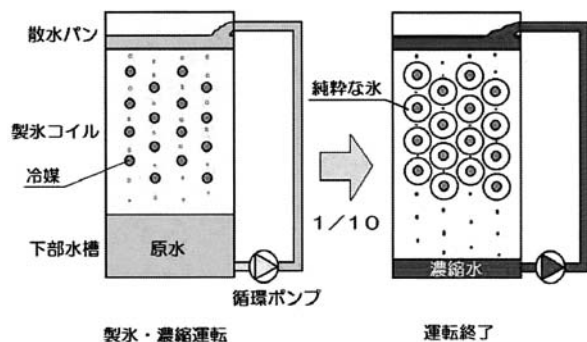


図2 流下液膜式凍結濃縮装置の概要

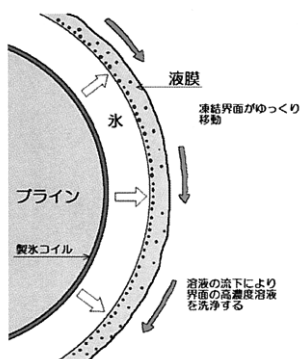


図3 流下液膜式前進凍結法

①排水の減容化

排水容量を10%に濃縮、減容することにより、省エネルギー、環境負荷低減に貢献するとともに排水処理費用も削減する。

②氷蓄熱としての冷熱利用

昼間には氷蓄熱装置として、夜間製氷した氷を冷房等の熱源として使用することで昼間の電力負荷を下げることができる。

③安価な夜間電力利用

氷蓄熱装置と同様に、電力会社と蓄熱調整契約を結ぶことで、安価な夜間電力が適用され、ランニングコストが安価となる。

④解氷水の再利用

冷熱利用した後の解氷水は清浄水となっているために、工業用水などとして再利用が可能となる。

⑤濃縮水の有価物回収

排水の成分によっては濃縮することにより有価物回収が可能となるものもある。

2. 設備・システムの概要

(1) システム構成

- ・流下液膜式凍結濃縮装置は、図4、5に示すように、製氷コイル、ブラインチラー、ブラインポンプ、排水槽、回収水槽、排水循環ポンプ、清水循環ポンプ、熱交換器と切替バルブ、配管、自動制御盤などから構成される。
- ・製氷コイルは外径約15mmのSUSあるいは銅製で隣の氷と一体にならない（ブリッジを生じない）間隔（約80mm）に千鳥状に配置している。
- ・上部の散水パンは孔径8ミリの多孔板として均一に散水が可能な構造としている。

(2) 運転方法

- ・運転はタイマーにより各運転モードを切り替えて運転する。各運転モードは下記である。
- ①排水補給：排水を装置内排水槽へ所定量汲み上げる。
- ②製氷濃縮：図4に示すように、氷蓄熱装置と同様に、22時から翌朝8時の割安な夜間電力を使用して、排水中の純粋な水だけを凍結させて、排水を十分の一に凍結濃縮する。排水

中の水分は清浄水として製氷コイル表面に凍結する。

- ③濃縮水排出：10分の1に濃縮した濃縮排水を外部濃縮水槽へ排出する。
- ④洗浄：水表面および装置内壁面に付着した濃縮排水を清水（解氷水）により洗浄する。
- ⑤解氷：図5に示すように、昼間には氷蓄熱装置として熱交換器を介して冷熱利用しながら清浄水を融解する。
- ⑥解氷水排出：解氷水を再利用水として排出する。

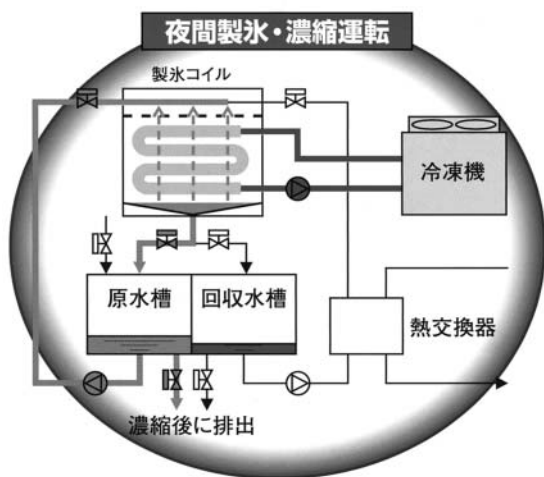


図4 夜間蓄熱・凍結濃縮運転

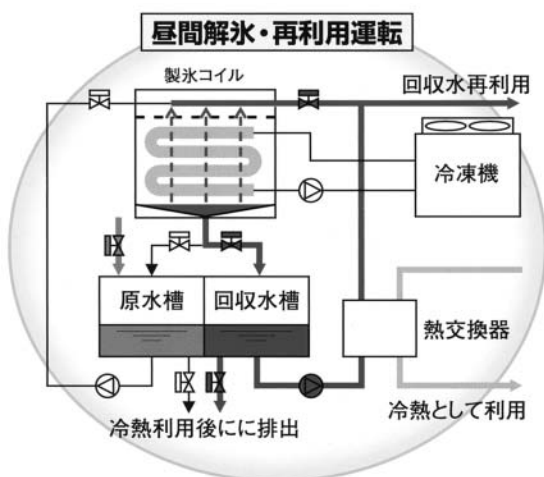


図5 昼間放熱・解氷・リサイクル運転

・蓄水量は排水槽および回収水槽に設けられた水位センサーにより換算して、製氷時には製氷量の監視、解氷時には残水量を監視して氷が融け残らない制御を行う。

(3) 納入システム

工場から出る排水を一旦既設の排水槽で貯留し、毎日汲み上げて排水を凍結濃縮分離する。濃縮水は濃縮排水槽へ排出し、定期的に産業廃棄物処理する。氷を用いて工場内冷房を行い、解氷水は製造装置の冷却水として再利用する。(図6)

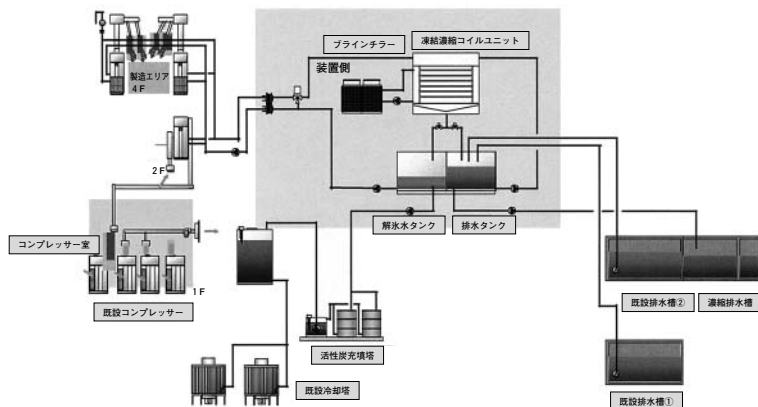
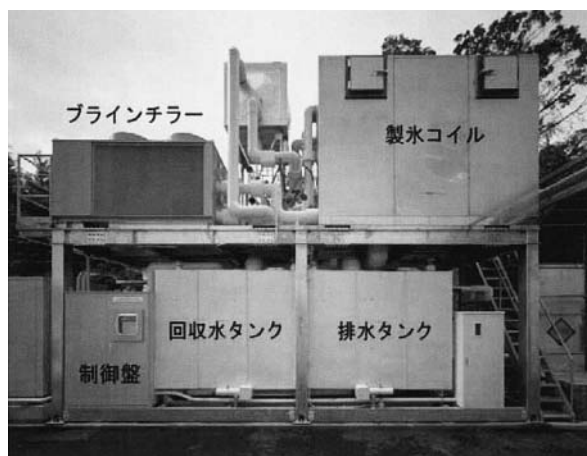


図6 システムフロー



流下液膜式凍結濃縮装置外観

(4) 流下液膜式凍結濃縮装置FREECISの概略仕様

処理量	m ³ /日	1	2	3	6	10
製氷量	kg	900	1,800	2,700	5,400	9,000
蓄熱量	MJ	301	603	904	1,808	3,014
冷却能力	kW	8	17	25	50	84
動力	kW	9.4	15.5	25.2	43.3	63.5
装置概観 (参考寸法)	L	4,000	6,000	8,000	11,000	8,000
	W	3,000	3,000	3,000	3,500	10,000
	H	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

3. 着想

[背景および実情]

氷蓄熱装置の主目的は昼間の電力負荷の夜間移行であり、電力会社の料金体系によりランニングコストを抑えることが可能であるが、一方消費エネルギーは、利用温度7℃程度に対して氷0℃で蓄熱するために冷凍機のCOPが悪くなることや、補機動力の増加、熱ロスなどの影響で氷蓄熱装置単体では省エネルギーにはならない。そこでシステムの省エネルギー化のため大温度差空調などの検討が行われている。また、氷蓄熱装置は各社様々な方式で開発されているが、採用の実態としてはコスト勝負となっている面が大きい。従って弊社の流下液膜式氷蓄熱装置はその解氷特性は優れているが、コストが高いことで採用実績が伸び悩んでいるのが現状であった。

[着眼点]

そこで、水から氷の相変化を利用して溶液中の純粋な水だけを氷にすることにより溶液を凍結濃縮することが可能であることがわかっていたので、弊社の流下液膜式氷蓄熱装置を利用して凍結濃縮への応用開発が進められた。

[新規性]

流下液膜式氷蓄熱装置はその構造が凍結濃縮するのに適していることで開発を可能にした。その特徴とは下記の通りである。

- ・氷の上から散水しながら製氷を行う。(凍結界面の物質移動が大きいため清浄氷を生成できる)
- ・氷と水が分離されている。(空中で製氷する)
- ・IPF(保有水量に対する製氷量の割合)が90%と非常に高い(十分の一までの濃縮が可能)

4. 効果(省エネルギー)

(1) 評価の範囲

製造工程用水として用いた上水が産業廃棄物の排水10m³/日となって排出されている工場に、氷蓄熱と排水減容の目的で流下液膜式凍結濃縮装置を導入した場合を想定する。なお、試算は1日当たりの電力量で評価する。

注) 納入事例ではなく一般的な例として計算する。

(2) 試算

産業廃棄物の排水が、同装置を導入することにより、1/10に減容することができる。排水を1/10にすることにより、排水を産業廃棄物としてガス燃料で焼却するエネルギーが削減され、省エネルギーとなる。

試算値(排水10m³/日を排出する工場)

流下液膜式凍結濃縮装置	
排水焼却エネルギー(MJ)	2,841MJ
電力エネルギー(使用電力量)	5,578MJ
・凍結濃縮	482kWh
・氷蓄熱の放熱	75kWh
・濃縮排水量(1m ³ /日)の処分用補機	10kWh
・濃縮排水量相当の上水処理	0.5kWh
1次エネルギー計	8,419MJ

従来システム(非蓄熱空冷チラー)	
排水焼却エネルギー	28,411MJ
電力エネルギー(使用電力量)	3,214MJ
・非蓄熱の空冷チラー	222kWh
・排水量(10m ³ /日)の処分用補機	100kWh
・排水量相当の上水処理	5kWh
1次エネルギー計	31,625MJ

(3) 試算結果

1次エネルギー削減量: 31,625-8,419=23,602MJ、
削減率73.4%

(4) 納入事例での省エネルギー効果は約59%でした。

5. 投資回収(省マネー)

(1) 試算

流下液膜式凍結濃縮装置の経済性は、その評価範囲を4. 効果(省エネルギー)と同様とし、10m³/日の産業廃棄物排水が排出されている工場に、本装置を導入した場合を想定した。

注) 納入事例ではなく一般的な例として計算する。

試算値

流下液膜式凍結濃縮装置	
イニシャルコスト	60,000,000円
ランニングコスト	6,702,800円/年
・ 電力料金（昼間）	256,000円/年
・ 電力料金（夜間）	621,800円/年
・ 排水処理費用	4,500,000円/年
・ 上水削減量	▲675,000円/年
・ 装置保守費用	2,000,000円/年

従来システム	
イニシャルコスト	4,000,000円
ランニングコスト	45,757,900円/年
・ 電力料金	757,900円/年
・ 排水処理費用	45,000,000円/年

イニシャル増：60,000,000円－4,000,000円＝
56,000,000円

ランニング減：45,757,900円－6,702,800円＝
39,055,100円/年

(2) 試算結果

単純投資回収年数：56,000,000円÷39,055,100円＝
1.43年

(3) 納入事例での単純投資回収年数は約3.4年でした。

6. 他の建物への応用性

氷蓄熱装置と排水処理装置の融合であるため、導入する際は下記の条件を満足する必要がある。工場が主なターゲットであるが、その他用途の建物でも下記条件を満足すれば適用可能である。

- ①年間を通じて排水が排出されていること。
排水を原水として製氷を行うため、排水が排出されている建物である必要がある。
また、その排水成分は凍結濃縮が可能な成分及び濃度である必要がある。
- ②年間を通じて冷熱利用先があること。
凍結濃縮した際の氷を融解するための冷熱利用先（空調、装置冷却）が必要となる。
- ③年間を通じて解氷水の再利用先があること。
清浄な解氷水を再利用する用途がある方がよい。ない場合は下水放流となる。

7. 環境保全、利便性等

環境負荷の排出量

		CO ₂	
		従来システム	本システム
排水焼却	排出原単位	2.29kg-CO ₂ /m ³	2.29kg-CO ₂ /m ³
	ガス使用量	631m ³ /日	63m ³ /日
	排出量	1445kg-CO ₂ /日	144kg-CO ₂ /日
電力	排出原単位	0.339kg-CO ₂ /kWh	0.339kg-CO ₂ /kWh
	電力使用量	327kWh/日	567.5kWh/日
	排出量	111kg-CO ₂ /日	192kg-CO ₂ /日
合計		1556kg-CO ₂ /日	336kg-CO ₂ /日
単位置	25RT	62.2-CO ₂ /日RT	13.4-CO ₂ /日RT

8. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

従来の氷蓄熱装置にはダイナミック方式、スタティック方式共に各社多くの方式があるが、いずれも冷熱源装置としてのみ使用されていた。

一方、流下液膜式凍結濃縮装置は、独自技術の氷蓄熱装置でありながら、産業プロセス排水などの濃縮、減容機能と、解氷水のリサイクル機能を有し、多機能で高付加価値の装置であるところに、新規性と創造性がある。

また、他の凍結濃縮装置と比較して、凍結濃縮機能と氷蓄熱・放熱機能が一体化された装置で、氷と濃縮水が必然的に分離される、シンプルな構造、容易な制御方法であることにも、新規性と創造性がある。

本装置の優れている点は下記である。

①制御が簡単

ブラインチラーは、冷凍能力と製氷コイル（伝熱面積）とのバランスにより成り行き運転をするため、複雑な制御は不要でチラーの運転効率も良い。

②濃縮倍率の確認が簡単

圧力素子で計測した水槽水位の変化で製氷量が把握できるため、濃縮倍率の確認が簡単に行える。

③製氷状態の確認が簡単

空中の製氷コイルで製氷するため点検口から製氷状態の確認が簡単に行える。

④冷熱利用が簡単

氷蓄熱として解氷特性に優れた散水外融式であるので低温冷水を有効に利用可能である。

⑤メンテナンスが簡単

製氷コイルと水槽、ポンプ、配管で構成されるシンプルな構造のためメンテナンスが容易で定期的な散水パン、水槽などの清掃でよい。

9. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ、競合品またはシステムとの比較、販売実績等

[市場性]

流下液膜式凍結濃縮装置市場には下記のものがある。

1) 産業関連

各種生産工程で産業プロセス排水を生じ、高価な産業廃棄物処分費用を必要とし、冷房、冷却などの冷熱負荷のある工場。

なお、比較的濃度（1%以下）の下記の排水が適用可能である。

- ・医薬品工場排水
- ・メッキ排水
- ・現像液排水
- ・精密機械工場のトナー排水
- ・機械製造ラインの洗浄排水など

2) 民生関連

冷却塔ブロー水や、その他の排水を大量に下水道放流し、その補給水として上水を使用し、年間に冷熱負荷がある施設。

・地域冷暖房プラント

・ホテルなど

3) その他

食品の濃縮用途として、香り、フレーバーの劣化無しに濃縮が可能のため、高価な薬品やだし等の液状食品の濃縮需要がある。

[競合品との比較]

排水減容装置として、A社の凍結濃縮装置がある。A社の装置は懸濁結晶法で、生成した氷粒を成長させた後、洗浄コラムで氷結晶と濃縮液とを分離する方法である。高濃度排水にも適用が可能とされているが、装置構造が複雑で装置価格が非常に高いと言われている。

当社の流下液膜式凍結濃縮装置FREECISは凍結濃縮と濃縮水の分離、氷蓄熱と放熱が一体化された装置であり、比較的需要の多い希薄な排水を対象に濃縮水を分離し、氷の冷熱利用も容易である。

10. その他

特許

- ・特許第3681153号 凍結分離装置
- ・特許第3690797号 凍結濃縮方法およびその装置
- ・特開2000-334442 凍結分離装置