

LNG冷排熱回収システムの開発

コストメリットが大きい冷熱取り出しを低コストで実現

Development of LNG Cold Exhaust Heat Recovery System

Low-cost cold extraction with large cost advantage

(エネルギー応用研究所 生産技術G 業務環境T)

大型サテライト基地では、熱回収した10℃の冷水を利用していましたが、小型サテライト基地では熱回収コストがかかり、冷排熱の利用が進んでいない。

新たな熱回収システムを開発し、価値の高いマイナス60℃の冷熱を取り出すこととした。

(Business Energy Efficiency Team, Production Engineering Group, Energy Applications Research and Development Center)

At large satellite stations, cold water (10℃) that received heat recovery was used, but at small satellite stations, heat recovery costs are high, so use of cold exhaust heat is not promoted.

We developed a new heat recovery system for extracting cold energy with a high value of minus 60℃.

1 背景と目的

ガス導管が敷設されていない地域のお客さまは、燃料として重油を用いることが多い。当社は環境負荷の低減やコストメリットの面から、お客さまへ重油から天然ガスへの燃料転換をご提案している。その場合は、小型のLNGサテライト設備を工場内に設置し、貯蔵タンクに貯めたLNGを現地でボイラ加温した温水等により気化し、天然ガスとして工場内へ供給する。

LNGは約-140℃で貯蔵されており、冷熱としての活用を希望するお客さまは多い。エネルギー会社等が港湾に保有する大型のLNGサテライト基地の冷排熱回収では、ドライアイス製造や、ガスタービン発電機の給気冷却などの実用化例があるが、小型サテライトの場合、複雑なシステムではコスト回収年が長くなり導入が難しい。一方、食品工場の多くは冷蔵・冷凍プロセス需要があり、その多くは電気式冷凍機によって供給されている。冷凍機による冷熱製造は、温度が低くなるほど効率が低下し、例えば、-50℃の冷熱を得るための効率は50%を下回ることから、電力ピーク発生の大きな要因となり、ランニングコストが高くなっていった。

そこで、LNGガス化と、冷熱製造のエネルギー削減という二つの省エネルギーを実現するために、神鋼エンジニアリング&メンテナンス(株)と共同で、低温取出の冷排熱回収システムを開発した。

2 システム構成の検討

様々な排熱回収システムのうち、回収年が比較的短いシステムとして冷水式気化器が考案されている。冷水式気化器のねらいは、汎用性の高い冷水温度10℃付近で取り出し、空調や冷却水等の多くの需要がある利用先に冷排熱を活用するものである。しかし、10℃の冷水は、冷凍機により効率よく作り出すことができ、電気代削減メリットは少ない。また、別途気化器を設けないようにしているため、熱交換器の出口で常温まで加温する必要があり、熱交換器

が大きくなる。さらに、熱媒用冷水の凍結を防止するために複雑な構造となりコストが高い。そこで、本開発では、マイナスの冷熱利用に限定し、コストメリットの向上を狙った。また、設備の低コスト化を実現するために、熱交換の範囲をLNGの蒸発域に限定した。これにより、熱交換効率の悪いガスとの熱交換を行う必要がなくなり、熱交換効率の良い沸騰状態の液との熱交換とすることで、小型化を図った。開発システムのねらいを第1表に示す。

さらにシステムを単純化するために、冷媒の凍結を簡単に防止する必要がある。そこで、冷媒に、凍結温度が-96.7℃と十分に低く、低コストで、低温時の粘性が高くないMDC(ジクロロメタン)を選定した。MDCはインクの洗浄などに利用されるが、毒性があるため開放状態の使用では様々な管理が必要である。今回は環境温度変化による液の膨張・収縮に窒素封入によるペローズ式膨張タンクで対応するなど完全密閉系で利用するため、特定化学物質障害予防規則による管理対象に該当しない。

第1表 開発システムのねらい

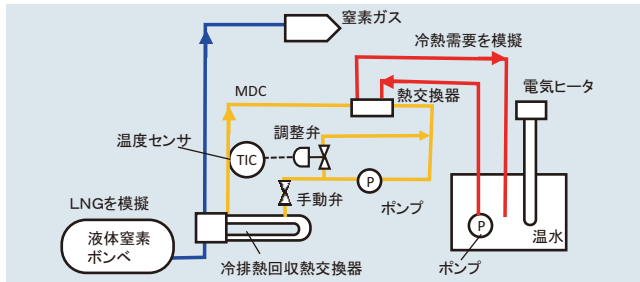
項目	既存システム (冷水式気化器)	開発システム
概要	・ガスタービン吸入空気冷却から発展 ・利用用途の多い10℃冷水で熱回収	サテライトに設置される既設の気化器を有効活用することで、LNG潜熱のみ低温で回収
課題とねらい	・熱交換後半は効率の悪い顕熱による熱交換となり、熱交換器が大きくなる。 ・水による熱回収は、凍結防止のため、構造が複雑になりコストが高くなる。	潜熱交換のみとなるため、熱交換器を小さく単純化でき低コストとなる。
	得られる冷熱が10℃程度となり、利用範囲は広いが冷熱価値が低い(冷凍機COP4以上)	得られる冷熱が-60℃から-10℃となり、利用範囲が狭いが冷熱価値が高い(冷凍機COP: 0.5~2)

3 実験・評価

(1) 実験システムの概要

年間のLNG使用量1000t/年と仮定すると、時間あたり最大300kg/hの使用量となる。実験システムは、3分の1スケールモデルとして構築した。安全上・実験上の取扱の良さから、低温流体は、LNGと蒸発温度帯が近い液体

窒素を用い、冷熱需要は温水を用いて模擬した。第1図にテストプラントの構成イメージを、第2表に冷熱回収用熱交換器の仕様、テストプラント写真を第2図に示す。



第1図 テストプラントの構成イメージ

第2表 冷熱回収用熱交換器の仕様(1/3モデル)

低温流体 (LNG側)	LN ₂ (液体窒素)
流量/圧力	200kg/h (LNG100kg/h相当) 0.3MPa
温度 (IN/OUT)	-185.7℃ / -100℃ (目標)
高温流体 (冷媒側)	ジクロロメタン (MDC)
流量	5,305kg/h
温度 (IN/OUT)	-35℃ / -45℃ (目標)
交換熱量	16.1kW
シェル形状	φ216.3mm×1,680mm (有効)
伝熱管など	LN ₂ : φ15.9mm×22本 (Uタイプ) MDC : 流れ方向に8パス
伝熱面積	3.4m ²



第2図 テストプラント写真

(2) 実験結果

冷熱取り出し温度は、冷凍プロセスへの利用を想定して、-45℃を目標とし、液体窒素の流量を100～250kg/hに変化させて、熱交換性能と冷熱の取出温度の安定性を確認した。第3表に示すように、流量が変化した場合でも、冷熱取出温度は約-45℃で安定した。また、U値 (総括伝熱係数) も、ほぼ設計どおりの値となった。

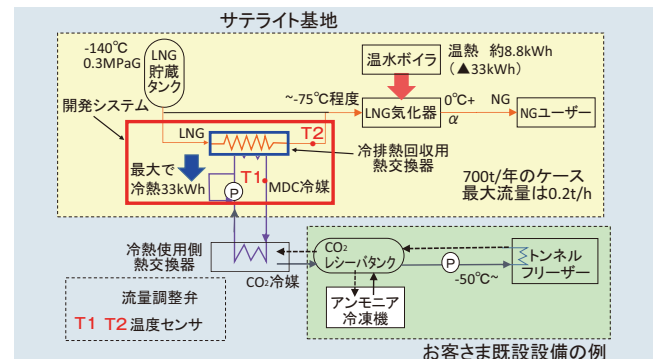
4 実工場への適用の検討

第3図に冷凍食品工場へ適用した場合のシステム図を示す。LNGからの冷熱を取り出したMDCによって冷凍プロセスの近くまで熱輸送し、現地で食品を冷やすための冷媒 (CO₂) へ熱交換して用いる。開発システムは、通常の気化器を用いている既存のサテライト基地への後設置も想定している。そのため、冷排熱回収熱交換器への、LNG流入量および冷凍プロセスに用いる冷媒の循環量を、他の設備に依存しないように制御できる自立型シス

テムであることが求められる。第3図のT1 (冷媒の冷排熱回収熱交換器出口温度)、T2 (LNGの冷排熱回収熱交換器の出口温度) の上限下限検知により、図中の4つの調整弁を調整するというシンプルな制御によって、冷熱要求熱量と冷熱回収熱量が一致しない場合でもそれぞれに安定した運用が可能である。また、冷排熱回収は現地状況によって条件が異なるため、実現見込みを簡易判定するツールを作成した。食品工場を想定した試算例を第4表に示す。利用側の熱交換器をコストに含めない状態で、4.5年の回収年となり、現実的なコスト回収年となるシステムを開発することができた。

第3表 液体窒素流量変化時の挙動把握

項目	実験1	実験2	実験3
Tube側 (窒素) 流量 (kg/h)	115.1	194.5	238.3
温度 (入/出) (℃)	-185/-85	-185/-100	-185/-105
Shell側 (MDC) 流量 (kg/h)	1739	3960	6759
温度 (入/出) (℃)	-25.6/-44.7	-32.1/-44.9	-36.4/-45.2
平均温度差 (℃)	116.4	123.3	124.1
熱交換量 (kW)	10.0	15.5	18.4
U値 (実測値) (W/m ² · K)	27.8	40.7	48.1
U値 (計算値) (W/m ² · K)	27.8	41.1	48.6



第3図 冷凍食品工場への適用イメージ図

第4表 コスト試算

冷凍機電力削減量	165,765 kWh/年
電気コスト削減量	3,315,294 円/年
LNG自己消費削減量	8.5 ton/年
LNG自己消費コスト削減量	722,564 円/年
コストメリット	4,037,858 円/年 減
CO ₂ 排出量	107 ton/年 減
デマンド (メリット計算外)	47 kW 減(最大)
LNG冷熱回収システム費用	17,970,000 円
単純回収年数	4.5 年

<計算条件> LNG年間消費量: 700t, LNG単価: 85千円/t, 既存冷凍機COP: 0.7, 熱回収温度: -45℃, 電力総合単価: 20円/kWh, 冷媒配管距離 (片道): 100m

5 今後の予定

開発機は、平成29年度より共同研究先の神鋼エンジニアリング&メンテナンスおよびシーエナジーより提案を開始している。食品工場を中心に提案を行い、省エネルギーや低炭素社会の実現に向けて貢献していきたい。



執筆者 / 藤田美和子