

技術紹介

Linde 社製新型ヘリウム液化機シリーズとその運転制御

Linde New Helium-Liquefier and its Control System

熊木 卓也*
KUMAKI Takuya

永見 将和*
NAGAMI Masakazu

1. はじめに

当社が技術提携をしている Linde Kryotechnik AG(スイス, 以下 Linde) では標準型 He 液化機として, 従来の TCF シリーズ¹⁾ に替わる L シリーズを開発した。この新型シリーズを納入するに当り, 当社でも制御系などを一新した。ここでは, 新型シリーズの特徴と新規開発した制御系などについて, その概要を述べる。

2. 新型膨張タービンの導入

He 膨張タービンはその軸受けにより, 図1に示すような3つの形式に区分される。Linde では旧 Sulzer 時代より, オイル軸受と動圧軸受を採用している。

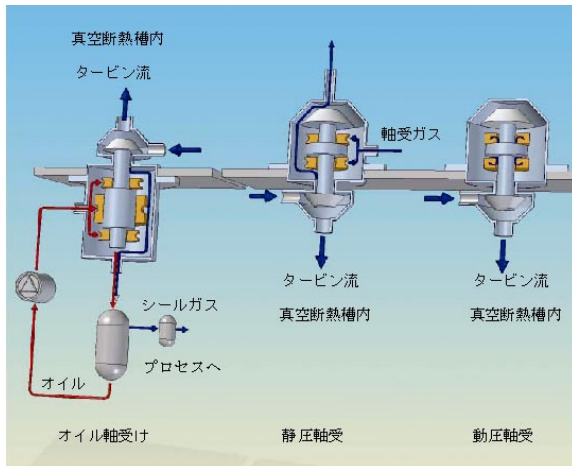


図1 膨張タービンの軸受形式

オイル軸受は非常に大型の液化プロセスで使用され, 標準型液化機には適合しない。静圧軸受は軸受容量を大きくできるため, Linde でも, 過去のある時期この形式を採用していたが, 軸受ガスが必要で, そのための制御も必要となり, プロセス圧力が変化する場合には軸受ガス用圧縮機を設置しなくてはならない²⁾などのデメリットから, 現在では動圧軸受を標準としている。今までは, 標準型タービンとして, 4種類の

* わんサイトプラント事業本部プラント事業部プラントエンジニアリングセンター宇宙・低温機器統括部プロジェクト

TGL (Turbine Gas Larger) があり (TGL16, 22, 32, 45), TCF シリーズに搭載されたものを含め, 過去30年で約600台が世界中に納入されている。当社でも TCF シリーズを40台以上納入しているほか, TGL タービンを使用した当社設計製作による装置も納入してきた (TGL22³⁾, TGL32 及び 45⁴⁾。

新型膨張タービン TED (Turbo Expander Dynamic) は, TGL 技術の蓄積より, 断熱効率の向上, 軸受容量と運転最高回転数の増大などを達成したものである⁵⁾。軸受容量と最高回転数の増加は, プロセス設計をより柔軟に行うことが可能となり, これが断熱効率の向上と相まって液化プロセスの効率を高くしている⁶⁾。

TED も TGL と同様に4種類 (TED16, 22, 32, 45) が標準化されており, L シリーズの液化機には, この TED タービンが搭載されている。

3. 制御系の更新

TCF シリーズには, 当社開発の制御系を搭載してきたが, He 液化という単機能装置のための制御系として, 更にコストパフォーマンスを高めるため, 標準搭載される Siemens 社の PLC を活用する方針とした。今回の制御装置は, He ガス回収系の制御も行わねばならなかったため, 図2に示すようなシステム構成とした。当社開発の EzMPICS⁷⁾ を運転操作端末とし, OPC 対応させて Siemens 社 PLC とのデータ通信を行わせた。回収系と EzMPICS は DeviceNet * により接続している。このような構成にしたことで, ヒストリ

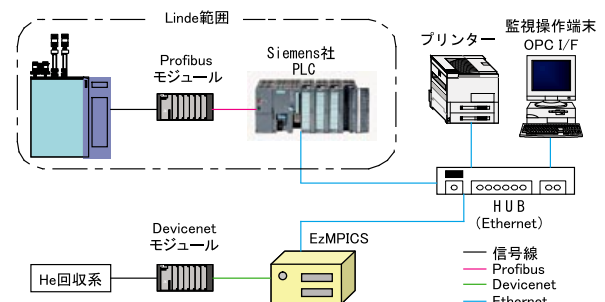


図2 新制御系の構成

カルトレンドデータ取扱(1分周期データをCSVファイルで保存)や定時状態印刷など、従来の便利で有益な機能や操作性をそのまま踏襲できるようにした。運転操作端末では図3に示すような全体システム画面が表示されるほか、運転制御上のパラメータ設定なども行うようになっている。

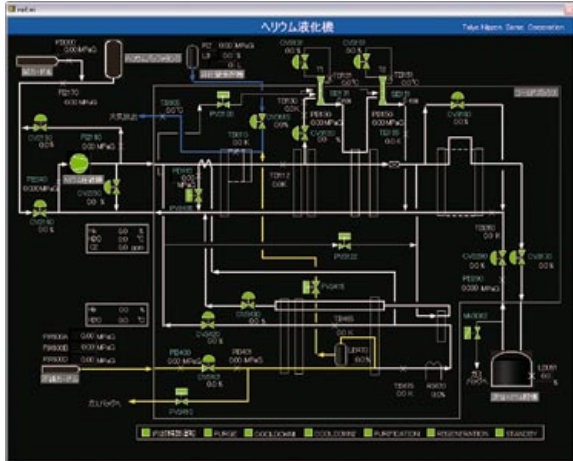


図3 運転制御監視画面の例

液化機以外から取り込まなければいけない信号が余り多くない場合に対応するため、EzMPICSを使用せず、Siemens社PLCの入出力Profibus**モジュールに、それらの信号を直接接続する、よりコンパクトな制御系も現在開発中である。

今回納入した2台の液化機、L140とL280の常温起動データを上記EzMPICSで作成されたCSVファイルを基にグラフ化したものを図4に示す。本常温起動は後で述べる内部精製器の予冷を一緒に行っている。

図4は液化機内部温度として第2タービン出口温度(T2出口)とLHe貯槽よりの低温戻りガス温度の2点、およびLHe貯槽液面の時間変化を表示したものであ

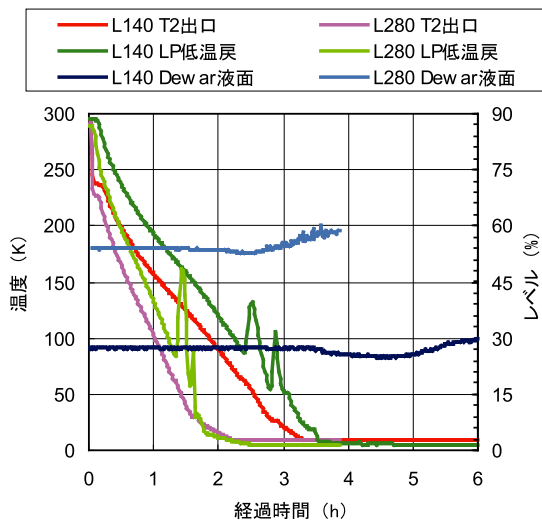


図4 常温起動したときの状態変化

る。起動直後にT2出口温度が変化しない領域があるが、これは冷却速度を抑え過大な熱応力の発生を避けるための制御の結果である。低温戻りガス温度が2度大きく変化している時間帯があるが、これは液化機とLHe貯槽を接続したときの3重管式トランスファーチューブの予冷過程を示している。

L140の起動時間が長くなっているのは、運転調整のためにHeガスを必要としたため、本運転前に常温ガスをLHe貯槽に導入してLHeを蒸発させているからであり、これは低温戻り温度がなかなか低下しないことに現れている。実際の液化機運用では、常温ガスをLHe貯槽に導入するような操作は行わないが、LHe貯槽よりの戻寒冷の重要性を示す好例として取り上げた。

なお、この起動データはいずれも本制御系による全自動運転で得られた結果である。

4. 制御方法の更新

本液化機には図5に示すような内部精製ユニットが搭載されている。

内部精製は、液化機内部の低温ガスと不純物を含む高圧Heを熱交換させ、同不純物を凝縮、凝固させて除去する装置である。液化機の低温ガスを使用するため液化能力は内部精製器を使用しなかった場合よりも低下するが、低温精製器などの外部機器を設置しなくても不純物を含むヘリウムガスを液化することが可能であるため、当社が納入したTCFシリーズのほとん

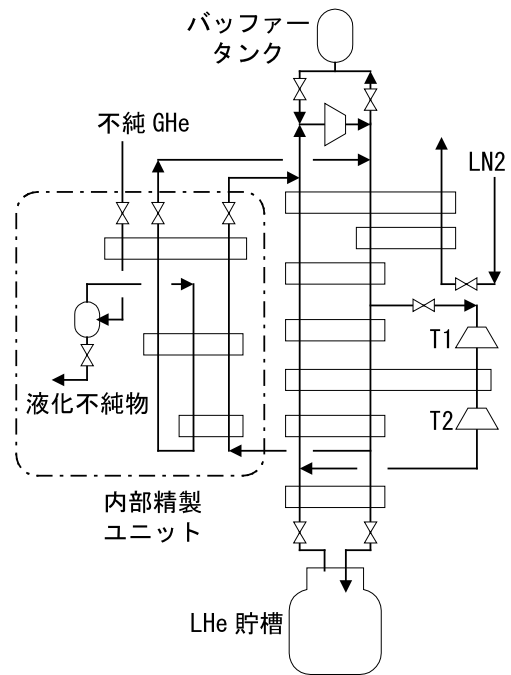


図5 内部精製ユニット概略系統図

どの液化機に備わっている。

精製された He ガスは液化機プロセスのバッファータンク (以下 BT) に余剰ガスとして貯蔵される。本内部精製器は、凝固による不純物除去を含むため、精製運転を行っているうちに精製系熱交換器で発生する差圧が増大する。従来の制御方法は、BT 圧力が上限値になるか、この差圧が規定値に達した時、精製系の加温を行い、その後パージ、再冷却を行うようになっており、この間の液化用ガスは BT より供給される。このように精製、加温再生、再冷却の操作を繰り返すことにより精製液化を連続的に行えるようになっている。

今回、内部精製運転を継続して行わせて BT 圧力を維持し、加温やパージにおけるガス使用量を低減させたいという顧客要望を満足するため、従来からの制御方法を変更した。

BT 圧力の時間変化は、従来の制御方法では上昇 (内部精製運転時) と下降 (精製系加温時など) の三角形となるが、今回の制御方法では BT 圧力が一定となる期間を有する台形となる。

実際の運転データの一例を図6に示す。

図6には内部精製運転時の BT 圧力、LHe 貯槽液面と内部精製系の液体不純物レベルを示しており、BT 圧力変化が台形となっていることが分かる。

注目すべきは、液体不純物レベルの上昇が、精製系加温時にも見られることである。内部精製運転時には凝固による不純物除去も行われているため、内部精製系熱交換器の低温部でも不純物が凝固しており精製運転が長時間になるほど、この凝固量が増大する。凝固した不純物を加温時に系外に排出しておかないと、次

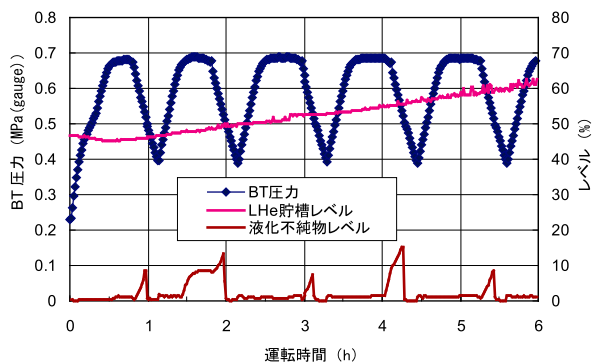


図6 新制御方式による内部精製運転データ

の内部精製運転時に差圧がすぐに発生することになり安定した精製液化運転ができない⁸⁾。この加温操作の最適パラメータを設定するため時間を必要としたが、一度、これらのパラメータを設定すれば、先に述べた制御系により内部精製系も含めた全自動運転が可能となった。

試運転の結果、L140, L280とも、内部精製運転時の液化能力は内部精製運転を行わない時の液化能力に対して約10%程度の低下に留まり、仕様を満足するものであった。

5. 結び

He 回収系を含む液化システムは、貴重な資源でもあるヘリウムをリサイクルするための重要な装置とも言える。このような装置の運転を、マンパワーも対象とした、より省エネルギーで実現することは液化機メーカーとして社会的な責任とも考えられ、今後もよりコストパフォーマンスの高い装置の納入に注力していきたい。

* DeviceNET は米国のアラン・ブラッドリー社により1994年に発表されたFA向けの制御用ネットワーク。国際標準規格IECに対応。

** Profibus はドイツでSiemens, Bosch, ABBなどが中心となって開発したフィールドバスで仕様は1989年に確立。国際標準規格IECや欧州規格ENに対応。

参考文献

- 1) 金田知士. 日本酸素技報. (14), 70 (1995).
- 2) Claudet, S.; Erdt, W.; Frandsen, P.-K.; Gayet, P.; Solheim, N.-O.; Titcomb, C.; Winkler, G. *Cryogenics*. 34 (Suppl), 99-102 (1994).
- 3) 中村安雄, 牛島勇, 深野隆, 北山尚男, 肥後盛長, 榎原正二. 第43回春季低温工学・超電導学会予稿集. 43, 52 (1990)
- 4) Matsuda, H.; Ushijima, I.; Katada, M.; Satoh, S.; Yamamoto, J.; Motojima, O. *Proceedings of the 16th International Cryogenic Engineering Conference / International Cryogenic Materials Conference Part1*. 67 (1997).
- 5) Creteigny, D.; Schönfeid, H.; Decker, L.; Löhlein, K. *Advances in Cryogenic Engineering*. 49A, 272 (2004).
- 6) Schönfeid, H.; Creteigny, D.; Löhlein, K. *Proceedings of the 20th International Cryogenic Engineering Conference*. 119 (2005).
- 7) 安藤浩二, 中嶋俊哉. 日本酸素技報. (21), 42-43 (2002).
- 8) 大陽日酸. 特願2006-280214. 2006-10-13.