

ヘリウム液化装置更新

宮内 幹雄^{a)}、近藤 裕^{a)}、敦賀 将太^{a)}、池田 博^{b)}

^{a)}筑波大学研究基盤総合センター技術室（低温部門）、

^{b)}筑波大学数理物質科学研究科物性・分子工学専攻（低温部門）

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

はじめに

2010年夏、ヘリウム液化装置の更新が行われた。筑波大学研究基盤総合センター低温部門ではヘリウム液化装置を用いて極低温実験に必要な液体ヘリウム（沸点 4.2 K）を製造し、学内の低温寒剤利用研究者へ供給している。初代ヘリウム液化機（液化能力 100 L/hr）は旧低温センター設立とともに昭和 53 年から 19 年間、次の 2 代目ヘリウム液化機は平成 8 年度に更新され液化能力 150 L/hr で 13 年間稼働してきた。近年ヘリウム液化機の故障発生率が徐々に高まってきていて、万一、ヘリウム液化機の故障のような事態が起きると、長期間の供給停止につながる可能性があり、教育・研究上に多大な支障が生じることになる。将来にわたり液化ヘリウムの安定供給を目的として、ヘリウム液化装置の更新が行われた。更に作業改善に必要な施設改良も行った。本報告では更新設備の背景も含めたヘリウム液化装置について紹介する。

1. ヘリウム液化装置の構成

図 1 にヘリウム液化システムの概略系統図を示す。以下に液化システムの構成を説明する。学内で使用されたヘリウムガスはガスバック[Ⓐ]に回収され、回収圧縮機[Ⓑ]で 14.7 MPa に圧縮し油水分離器[Ⓒ]・高圧ドライヤー[Ⓓ]で油や水分除去した後カードル[Ⓔ]に充填し貯蔵する。貯蔵したガスは液化のため中圧乾燥器[Ⓕ]で降圧し液化機コールドボックスの内部精製器[Ⓖ]へ送られる。内部精製器ではヘリウムガスに混入した不純物を除去し液化機ライン[Ⓗ]に供給する。液化用圧縮機[Ⓘ]で圧縮されたガスは液化機の 2 基の膨張タービン[Ⓙ]にて 9.4 K まで冷却され、JT 弁[Ⓚ]で液化する。付帯設備として液化用バッファータンク[Ⓛ]を備える。液化したヘリウムは三重管トランスファーチューブ[Ⓜ]でヘリウム貯槽[Ⓝ]に移送貯蔵し汲み

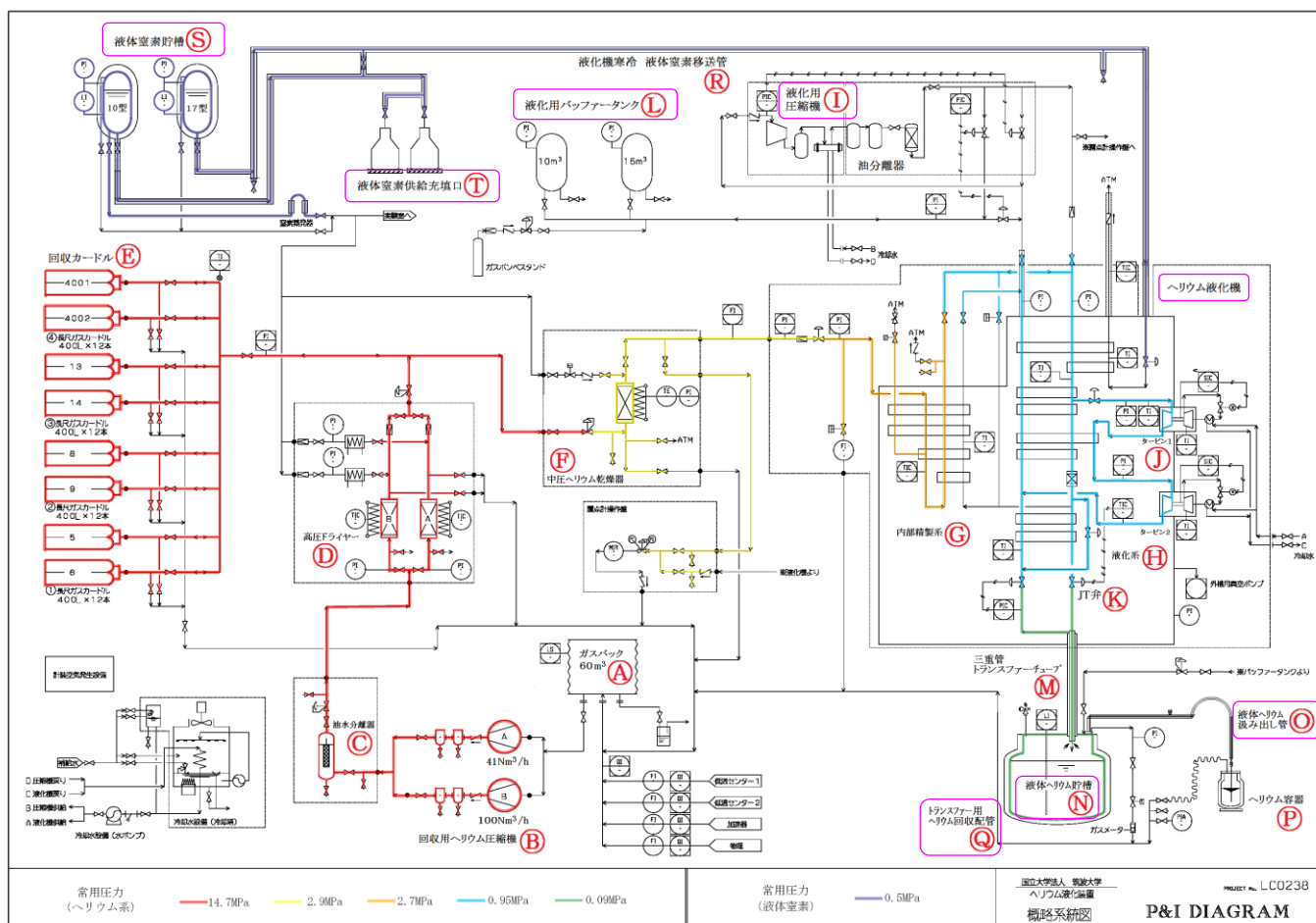


図 1. ヘリウム液化システム

出し管⑥でヘリウム容器⑦に小分けする。トランスファー時の蒸発ガスはヘリウム回収配管⑧でガスバックに戻し再利用する構成である。また液化機寒冷⑨及び学内供給として液体窒素貯槽⑩を有し、学内に液体窒素（沸点 77 K）の供給を行う設備として液体窒素供給充填口⑪を設備する。

2. 更新機器

今回更新を行った機器は、

1. ヘリウム液化機（精製液化能力:200 L/hr）
2. 液化用ヘリウム圧縮機
3. 液体ヘリウム貯槽（充填容量:5000 L）
4. 液化用バッファータンク増設
5. 液体窒素貯槽
6. 液体ヘリウム汲み出し設備の改善
 - ・液体ヘリウム汲み出し管
 - ・ヘリウム回収配管
7. 液体窒素供給充填口の改良
8. 運転制御システム

以上である。変更機器は 図 1 において機器名称をピンク枠で囲っている。以下に各機器の仕様等の更新の詳細について記述する。

2.1 ヘリウム液化機

図 2 の①に外観を示す。ドイツの LINDE 社製の L280 である。今回の液化機の大きな変更点は運転圧力を 1.6 MPa から 0.81 Pa に下げ、且つ液化能力を純度 99% の不純ガス運転で 150 L/hr から 200 L/hr に性能アップをしたことである。液化行程は液化機内の気液分離器を持ち液化機内で液体ヘリウムを製造後三重管トランスファーチューブで外部に取り出す方法から、液化機内部に気液分離器を持たず JT 弁にて液化後、直接三重管トランスファーチューブを介し液体ヘリウム貯槽に液を溜め込む方法とした。また膨張タービンは磁気浮上ベアリング型式からガスベアリング型に変更になった。

運転においてははまだ試運転の状態を脱していないが、現状では室温からの予冷時間は 3 時間以内、連日運転の予冷時間は 40 分に短縮した。更新前液化機は室温からの予冷時間は 4 時間強、連日運転においては 70 分掛かっていた。

2.2 液体用ヘリウム圧縮機

図 3 に外観を示す。圧縮機はスクリューの圧縮部本体⑤と油分離器⑥からなり黄色のボックス内にスクリュー本体が収納され、横のタンク陣が油分離器である。スクリュー部ではヘリウムガスとオイルが混合状態で圧縮し、4 段の油分離器でオイル成分を分離吸着し液化機へ送り込まれる。運転圧力は 0.93 MPa である。更新前は国産の前川製作所製で今回はドイツの KAESER 製となった。そのため供給電源が変わり高圧の 6600 V から低圧の 400 V となり変圧器の設置が必要となった。また起動方法はリアクトル起動から Y-Δ 起動となりメンテナンスは容易と

なった。圧縮機開始時は起動時負荷軽減用のスライド弁がなく全量負荷起動となった。そのため静定までの時間が今までの 15 分から 2 分かなりの短縮が図られた。しかしその反面、起動と同時に圧縮される全量ガスの吐出量をバルブユニットのロード弁、アンロード弁とバイパス弁によって吐出・吸入圧力の風量調整のため急激なバルブ動作が発生するのでスライド弁式による起動とは大きく異なる。

2.3 液体ヘリウム貯蔵

図 2 の②に外観を示す。イギリスの WESSINGTON 社製の CH-5000 である。今回内容積 4000 L の貯槽から内容積 5550 L、充填容量 5000 L に更新し供給保有量の増強を図った。トップフランジには液化機と接続用三重管トランスファーチューブのポート、汲み出し管挿入ポート、超伝導液面用ポート及び予備として 2 ポート装備する。他に電磁弁駆動による蒸発ガス制御器を回収ラインに取り付けトランスファー用貯槽圧力の保持を担う。蒸発量は充填容量の 0.3% の 15 L 程度と断熱性能が向上した。

2.4 液化用バッファータンク増設

図 4 の⑦に外観を示す。既設として 15 m³ のバッファータンク（図 4 の⑨）を所有するが液化機処理能力の増加に伴う精製運転モードの運転持続の安定化として 10 m³ のタンクを増設した。このタンクの目的は内部精製を使用した液化運転では定期的に精製器内に低温吸着した不純物を加温再生し除去する行程があり、この間の液化運転に必要な純ガス供給として利用する。ゆえに容量が小さい場合、再生時間が不足し液化運転の持続が困難な状況となる。

2.5 液体窒素貯蔵

液体窒素は液化運転寒冷と学内供給用として使用している。今までは共通の配管で CE17 型（内容積 16,700 L）を中心に CE3 型（内容積 2,960 L）予備として使用してきた。しかしこの共用により液化機の温度バランスが不安定になることが発生していたので、今回この問題を解消するため独立に使用出来るよう CE3 型の大型化を図り個々に使用できる配管とした。図 4 の⑧が更新した貯槽の外観である。国産の CRYO ONE 社製の TL-10、内容積 9,700 L、充填容量 8,730 L である。なお共用利用も可能とするため貯槽間接続の仕切り弁を取り付けた。図 4 の⑩が既設の CE17 型である。

2.6 液体ヘリウム汲み出し設備の改善

我々の作業で一番手間が掛かる部分である。如何に短時間で効率よくトランスファー出来るかが一日あたりの液体ヘリウム供給量に影響する。既設設備では様々なことを試みたが毎分 3 L 程度の汲み出し量が限界だった。今回の更新ではハード面の改良として二点行った。1. 汲み出し管の内径を 4 mm から 7 mm にボアアップし吐出量を増やした。構造は操作性から更新前同様の小分け容器挿入側半分をフレキシブルとし他はリジットとした。2. 回収配管の配管径を 25 A から 50 A のフレキシブル管に変更し配管抵抗による背圧上昇を抑えた。フレキシブル管を使

用したのは放熱面積を稼ぎ戻りガスの昇温が目的である。図2の③が汲み出し管、④が回収配管口で図5がピット内のフレキシブル管である。まだ確実な結果は出ていないが貯槽圧力 0.024 MPa で毎分約 5 L 以上のトランスファーはできることが確認できた。

つまり容器交換の時間は別にして 1 時間当たり 300 L の液体ヘリウムを汲み出しが可能となる。他に汲み出し管は挿入設置すると貯槽内で熱振動が発生し貯槽圧力を上昇させる問題が起きる。この対策として貯槽側には熱振動防止用の逆止弁を取り付けた。



図2. ヘリウム液化機・液体ヘリウム貯槽



図5. フレキシブル回収配管



図3. 液化用ヘリウム圧縮機



図4. バッファータンク・液体窒素貯槽

2.7 液体窒素供給充填口の改良

更新前は大型容器用の液体窒素供給場所（図 6）として充填バルブ 2 個と台ばかり 1 台で学内に液体窒素の供給を行ってきた。今回改良として二点行った。

密閉型液体窒素容器は高圧ガス保安法により最高充填量が法律で決められて充填中は重さ測定状態で充填を行う必要がある。従前の供給設備では 1 台しか充填できず、利用者の増加に伴い不便を強いてきた。今回利用者の待ち時間短縮のために台ばかりを増設し容器 2 台同時に充填できる設備とした。

次に行ったことは充填ホースの挿入方法の改善を行った。従前は先端に L 型配管を取り付けたフレキシブルホースを単に液体窒素容器のトップの充填口に挿入することで充填を行ってきた。これは挿入時フレキシブルホースを一度かなり持ち上げないと挿入できず大変だった。また充填中において放出ガスによるフレキシブルホースの飛び出しが危険視されていた。このような状況から利用者の安全性を考慮して改良を行った。図 7 が改良後である。充填バルブ直後エルボでフレキシブルホースを上側に配管し、フレキシブルホース先端直管を充填容器上側に配置しバランサーで吊り下げた。充填口挿入は先端を上下するだけで挿入作業が可能となり簡便になった。またフレキシブルホース飛び出し防止策には容器とフレキシブルホース間にフックを掛け安全性を確保した。

2.8 運転制御システム

図 8 が運転制御システムの構成である。制御コントローラは大陽日酸製の「EzMPICS II」（Easy Multi Performance Integrated Control System）を採用し、入出力装置は「DeviceNet」を使用した。EzMPICS II は既設ヘリウム液化機にも採用されていて制御コントローラとして信頼性に優れていた。運転制御はデジタル計装ソフトを使用しシーケンスプログラム、FDB プログラム等の各種設定し実行する。

運転操作端末には使用するのは大陽日酸製の「HITS」（Human-Interface-Tool System）で今回新たに採用した。java 環境で動作するため運転操作端末の OS に依存しない特徴がある。液化機の運転操作、監視、データ収集、トレンドグラフ表示等を行う。

最後に我々がヒューマンインターフェイスとして利用する端末画面を図 9 に示す。①がシステムの監視用に利用する系統図である。この画面では液化運転の情報のほか、カードル圧力、サブセンター回収ガス純度、実験棟供給 He ボンベ圧力を表示する。更にカードルにおいては 8 系統のどのラインを利用しているか選択表示が可能とし、回収純度については純度低下時には表示がフラッシュ警告できるようにした。またこの系統図から直接液化機バルブの計器画面のポップアップ表示できる。②が 3 箇所のバルブの計器画面をポップアップ表示したものである。計器画面ではバルブモード変更、設定値変更等が可能で運転中に操作し最適な運転確立の試行を行うことに重宝している。③は液化機冷却過程のバルブ開度、温度変化のトレンド画面である。この表示も系統図から直接バルブ・温度等をクリックすることでトレンド画面が表示できる。④は運転画面である。上段が全自動運転、個別運転の起動ボタン、下段が起動条件の一覧である。液化機起動時に液化機のトリップの状態が把握できる。

3. まとめ

供給量増加・経年劣化対策として念願の液化機の更新が実現した。6 月に茨城県へ高圧ガス設備変更許可申請を始め 7 月末には変更許可が下りた。8 月、9 月と更新工事を行い 10 月 6 日に完成検査に合格し液化機試運転を開始した。10 月後半には液体ヘリウムの供給が再開でき更新工事は予定通り遂行できた。

今後の課題としては、引き渡された液化機はまだ運転制御シーケンスの予冷過程において多くの問題を抱えていることである。今までの液化運転の経験を活かし我々の手でシーケンスプログラムの改善に取り組んでいく。また高圧ガス製造設備として、メ

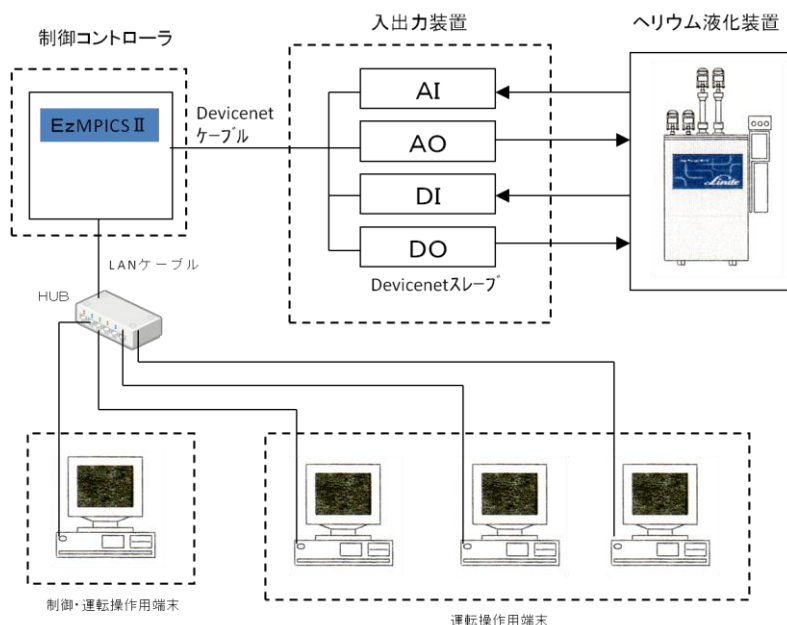


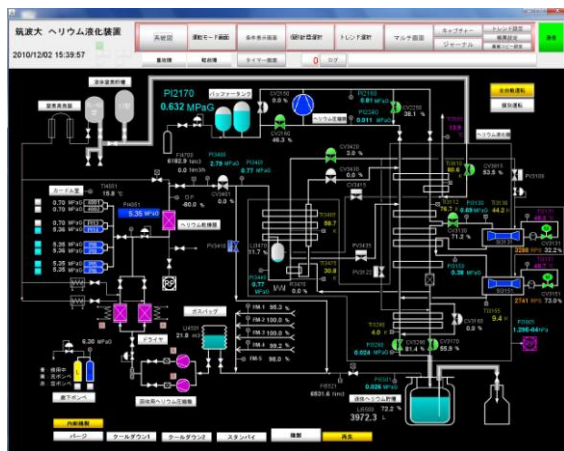
図 8. 制御システム構成図

メンテナンスの方法、運転基準等を整備し安全に装置の維持管理できるシステムを確立していく予定である。

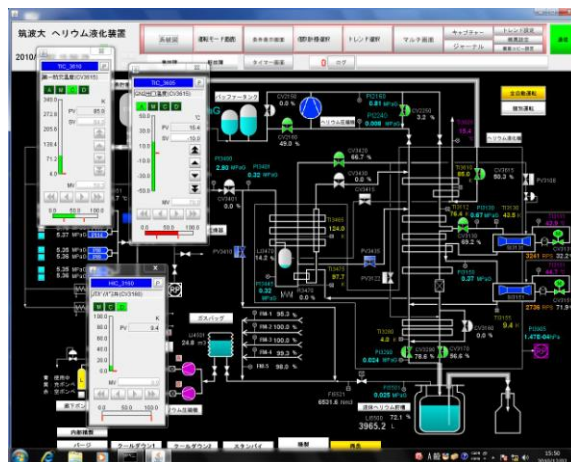
謝辞

ヘリウム液化装置の更新に当たり、大学関係者及び工事を担当した大陽日酸(株)のご協力に深く感謝いたします。

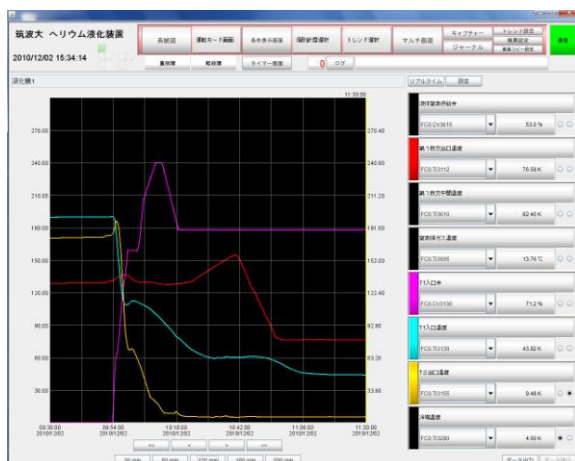
① 系統図



② ポップアップ系統図



③ トレンド



④ 運転画面

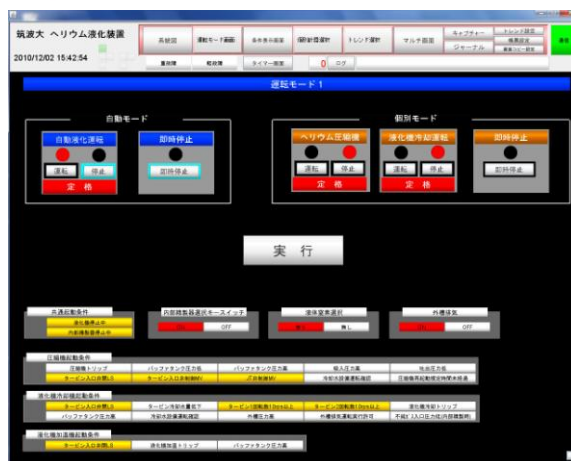


図 9. 端末画面

Renewal of helium liquefier

Mikio Miyauchi^{a)}, Yutaka Kondo^{a)}, Shota Tsuruga^{a)}, Hiroshi Ikeda^{b)}

^{a)} Cryogenics division, Technical Service Office of Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba,

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

^{b)} Materials Science(Cryogenics division), University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

The cryogenics division, Research Facility Center for Science and Technology, supplies the liquid helium as liquid refrigerant to the laboratories in the university we operate helium liquefier. The helium liquefier was updated in 1996 and operated for 13 years. In late years a trouble incidence of the helium liquefaction opportunity rose slowly. For the future, renewal was performed with helium liquefier for liquid stable supply. In this report we introduce renewal of helium liquefier.

Keywords: helium liquefier