

## ヘリウム液化機の液化能力改善

### Tuning and Improvement of Helium Liquefier

楠田 敏之

京都大学化学研究所

T. Kusuda Institute for Chemical Research, Kyoto University

#### 1. はじめに

低温物質科学研究センター・宇治キャンパスでは、ヘリウム液化回収装置及び液体窒素貯槽を設置し、宇治キャンパスへの液体ヘリウム、液体窒素の供給を行っている。近年の液体ヘリウムの需要の増加(Fig. 1)に対応するため、平成9年度にヘリウム液化装置の更新が行われ、液化能力が40 liter/hrから60 liter/hrへと強化された。

ヘリウム液化装置の中心であるヘリウム液化機の能力は、設置初期段階で仕様書の要求能力を満たしていたが、その能力を最大限活用することを目的に調整を行った。その結果、限界性能を確認すると共に、安定性を確保した上での能力改善を行うことが出来た。

#### 2. ヘリウム液化機の仕様

ヘリウム液化機はLinde社製TCF-20型でタービン方式、内部精製器付、液体窒素予冷方式である。

仕様書での要求の液化能力(注1)は純ガス運転時に50 liter/hrであるが、マニュアルの中の熱の設計図である温度-エントロピー線図を見ると

「GUARENTEE: 65 liter/hr Level Rise (液面上昇)」と示されている。また設計値は74.7 liter/hrであると記されている。調整はこの値を目標に行った。また、液化能力は液体ヘリウム2000 liter貯槽の液面上昇により測定した。主に内部精製運転を行っているため、単に液化能力と示した場合は内部精製運転時の液化能力とする。

#### 3. 初期調整

タービン式液化機の調整は通常、液化用圧縮機の吐出圧力、タービン入口弁開度、タービン出口温度、液体ヘリウム貯槽圧力を変えることにより行われる。(Fig. 2)

タービン入口弁開度、タービン出口温度、液体ヘリウム2000 liter貯槽圧力の初期設定値からの調整を行った結果を次に示す。

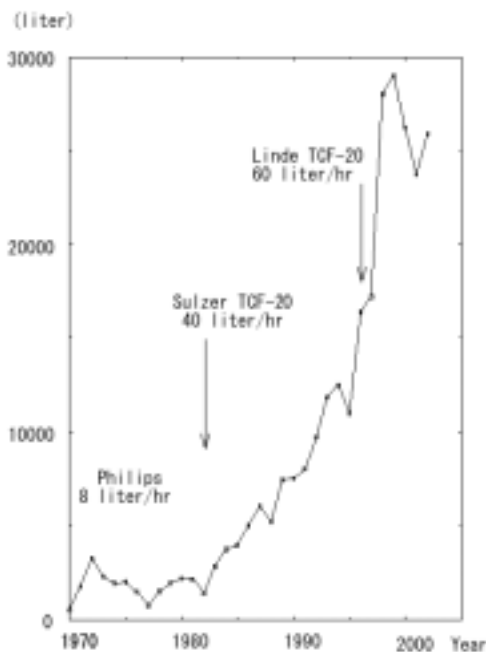


Fig. 1 宇治キャンパスの液体ヘリウム年間供給量の推移

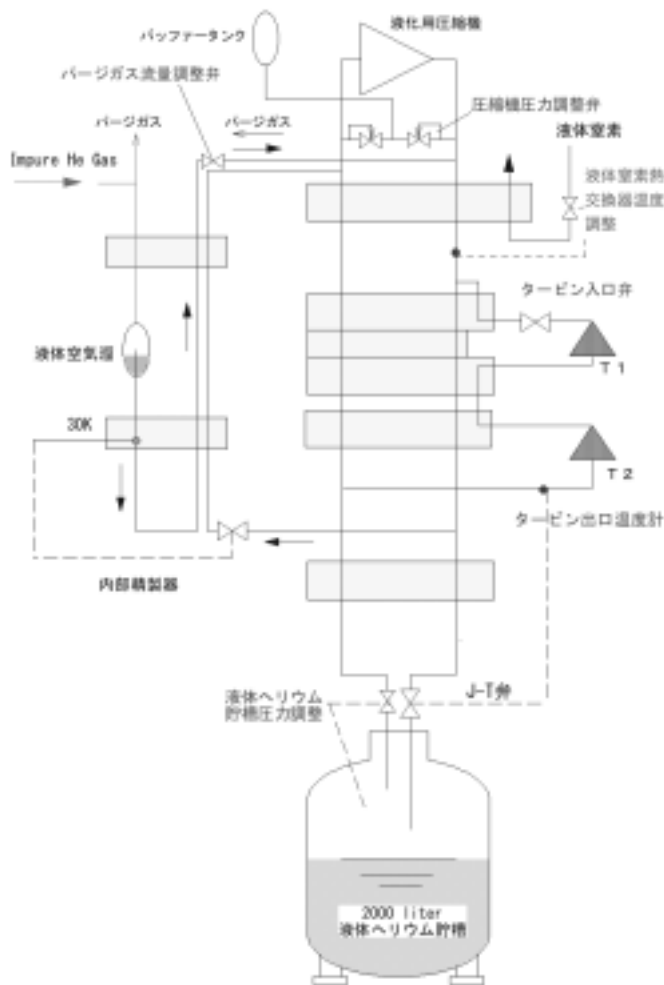


Fig. 2 ヘリウム液化機フロー

タービン入口弁開度の調整を Fig. 3に示す．開度95%で液化能力の最大値を示した．タービン出口温度依存性を Fig. 4に示す．10.8 K付近で最大値を示した．液体ヘリウム2000 liter貯槽圧力の調整を Fig. 5に示す．0.045 MPa付近で最大値を示した．

この3点の調整により約60 liter/hrの液化能力が得られた．

しかし，タービン入口弁開度を95%に設定すると内部精製器の再生時に必要流量が一時的に液化用圧縮機的能力を超えて吐出圧力が変動し，その影響で吐出圧力が上限を超えて緊急停止を引き起こした．このため，開度を最適値の95%から90%に絞った．この結果，液化能力は約50 liter/hrに低下した．さらに，前項の調整を何度も行ったが，液化能力の改善は見られなかった．

そこで温度-エントロピー線図を見るとジュール・トムソン弁 (J-T弁) 入口温度が温度-エントロピー線図の値より高い値を示していた．この温度を下げることにより液化能力が向上すると考え，最後に残っていた調整可能なパラメーターであるが，通常は行われない2基のタービンの回転数と圧力バランスの調整を行った．

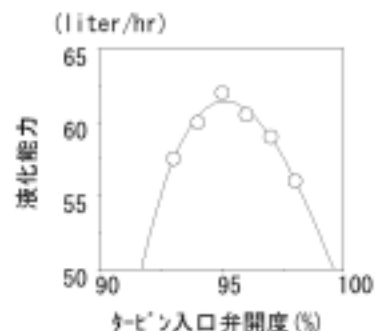


Fig. 3 液化能力のタービン入口弁開度依存性．タービン入口のガス流量を調整することでタービンの動作をコントロールする．

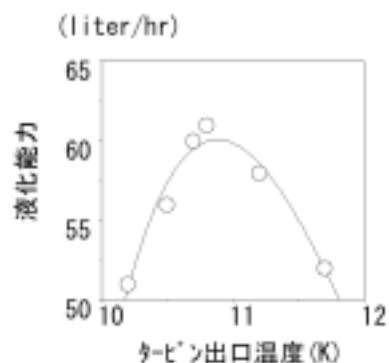


Fig. 4 液化能力のタービン出口温度依存性．

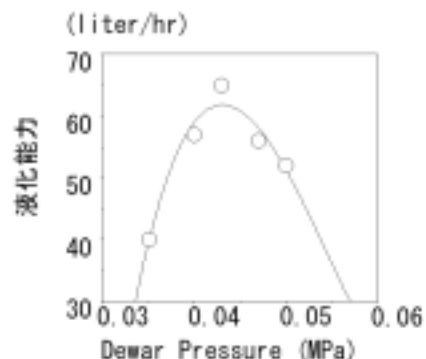


Fig. 5 液化能力の2000 liter液体ヘリウム貯槽圧力依存性．

高温側タービンT1の調整を Fig. 6に示す. 4000 rps付近に最大値がある. 低温側タービンT2の調整を Fig. 7に示す. 3800 rps付近に最大値がある. 結果的にJ-T弁入口温度は確認出来る程の変化は認められなかったが, メーカーの設定値

T1 4000 rps, T2 3300 rpsの時の液化能力は約50 liter/hrであったのに対し, T1 3900 rps, T2を3700 rpsとすることにより約60 liter/hrの能力が得られた.

次に, 液体窒素熱交換器の温度の調整を行った. 結果を Fig. 8に示す. 液体窒素熱交換器の温度は初期設定の88 Kでは61 liter/hrの液化能力が得られ, 設定温度を下げるとともに液化能力は向上し, 85 Kでは67 liter/hrの液化能力を示した. さらに設定温度を下げても83 Kでは鈍化し, 81 Kでは変化しなくなった. 液体窒素の消費量とのバランスを考えて, 液体窒素熱交換器温度の設定は85 Kとした.

#### 4. 再調整

液体窒素熱交換器温度の設定後, 再度タービン回転数の調整を行なった.

高温側タービンT1の調整を Fig. 9に示す. 3500 rps付近が最大となり70 liter/hrを示した. 低温側タービンT2の調整を Fig. 10に示す. 3300 rps 4300 rpsでは70 liter/hrを示し4500 rpsでは60 liter/hrに低下した. 3200 rps以下に設定しても回転は3200 rpsより下がらなかった.

この調整の結果, 液化能力が向上し, 内部精製運転時に約70 liter/hrの液化能力を得た.

#### 5. 液化用圧縮機の高圧安全装置による緊急停止対策

液化用圧縮機の吐出ガスはタービンの駆動ガス, 液化されるガスと内部精製器の動作ガスに使用する. 内部精製器が不純ガスで汚れた場合に温度を上げて再生を行うが, その時に一時的に大量のガスを使用する. この時に液化用圧縮機の能力を超えると, 圧力

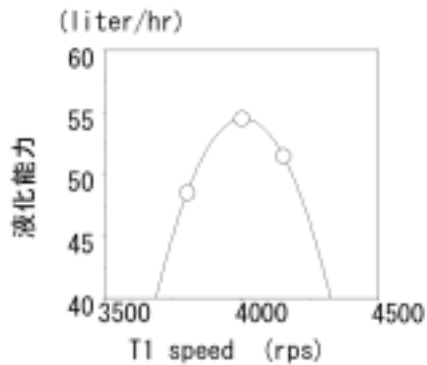


Fig. 6 液化能力のタービン回転数依存性。

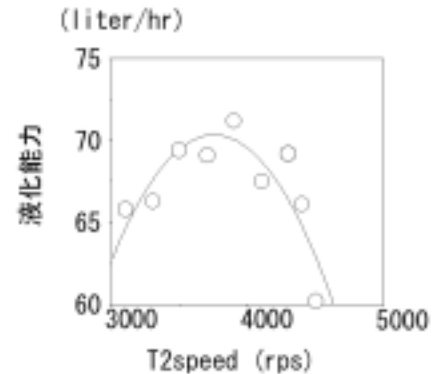


Fig. 7 液化能力のタービン回転数依存性。

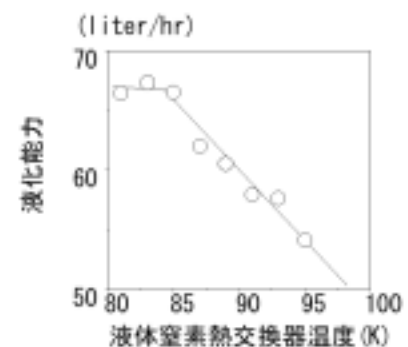


Fig. 8 液化能力の液体窒素熱交換器温度依存性。

液化機に入ったヘリウムガスを液体窒素で冷却するための熱交換器。

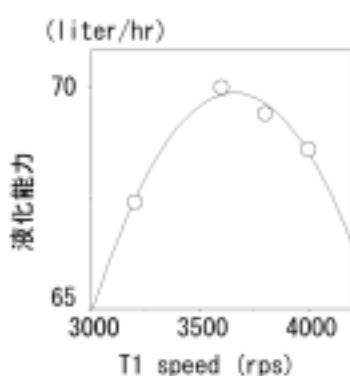


Fig. 9 液化能力のタービン回転数依存性。

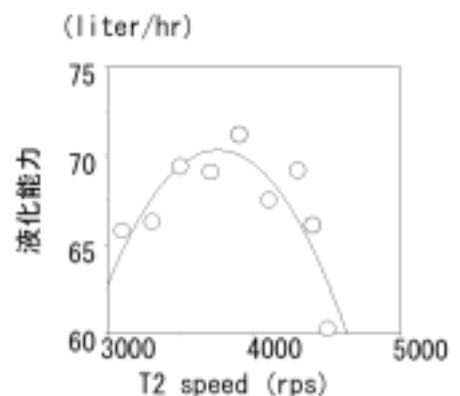


Fig. 10 液化能力のタービン回転数依存性。

が不安定となり、液化用圧縮機の高圧安全装置による緊急停止が発生する。

再度この問題が発生した。そこで、液化用圧縮機の吐出圧を下げるために、液化用圧縮機の吐出圧と液化能力の関係を調べた。その結果を Fig. 11に示す。

約0.92 Mpa (abs) 付近より低圧側では液化能力は一次的に低下し、高圧側はほぼ一定となった。このため液化用圧縮機の吐出圧は0.93 Mpa (abs)に設定した。

## 6. 安定化と最大液化能力

次に、内部精製器の再生時の圧力変動の原因を考えてみた。

前項で述べた内部精製器の流量を減らすことにより、内部精製器の再生時に液化用圧縮機の吐出圧が安定すると考えて調整を行った。パーズ(固化した不純ガスを再生時に昇温して溶かし、ヘリウムガスで掃除する動作)流量を減らし過ぎると精製時間が短くなり精製能力が減少した。精製能力に影響を与えない流量に調整することにより液化用圧縮機の吐出圧の変動が小さくなり安定した(Fig. 12)。

再度タービン入口弁開度の調整を行い最大液化能力を調べた。その結果を Fig. 13に示す。

内部精製器のパーズ流量の調整によりピークが無くなった。そこで、タービン入口弁開度100%での液化用圧縮機の吐出圧と液化能力を調べた。その結果を Fig. 14に示す。

0.95 Mpa (abs)では70 liter/hr、0.96 Mpa (abs)では75 liter/hrを示した。0.96 Mpa (abs)の時には液化用圧縮機の吐出圧は圧縮機本体の圧力計で上限値の1 Mpa (abs)となり、この値がこのシステムの最大液化能力であると考えられる。

最大液化能力の内部精製時75 liter/hrを確認した。また、0.93 Mpa (abs)時には内部精製時70 liter/hr、純ガス運転では73 liter/hrを確認した。

## 7. まとめ

ヘリウム液化機的能力を最大限引き出そうとすると、圧力変動の要素のある場合には液化用圧縮機の吐出圧が変動しその影響で吐出圧が上限を超えて緊急停止を引き起こした。この対策には、内部精製器の各流量の最適値を探す必要があり、手動バルブの開度により微調整を行った。その結果、設計能力が引きだせることを確認するとともに、動作の安定を確保した上で液化能力を向上させることが出来た。

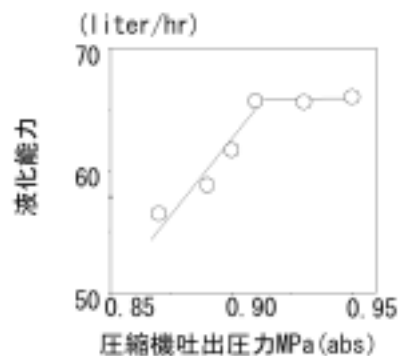


Fig. 11 液化能力の圧縮機吐出圧依存性。

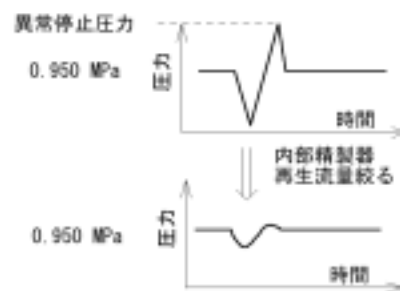


Fig. 12 内部精製再生時の液化用圧縮機吐出圧変動。

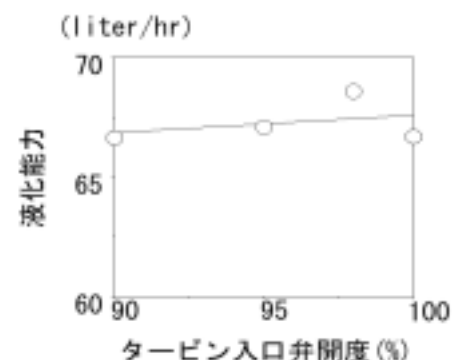


Fig. 13 調整後の液化能力のタービン入口弁開度依存性。

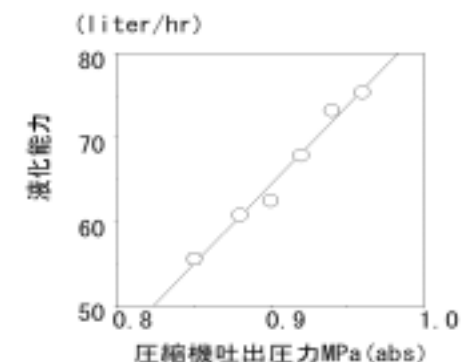


Fig. 14 調整後の液化能力の圧縮機吐出圧依存性。

この液化機の最大能力は内部精製時に75 liter/hrであることが確認出来た。この値は純ガス運転では80 liter/hr近くなると考えられ、この液化機の熱交換器の設計が80 liter/hrであることから、ほぼ限界の能力を確認出来た。

現在は、液化用圧縮機の吐出圧を0.91 ~ 0.93 Mpa (abs) に設定して、安定した状態で内部精製運転を行い60 ~ 65 liter/hrの運転を行なっている。(注2)

-----  
(注1) ヘリウム液化機の能力は、99.999%のヘリウムガスを原料とする純ガス運転に対する能力と、液体ヘリウムを実験に使用して蒸発ガスを回収し、不純物として空気を含む不純ガスを液化機内で精製しながら原料ガスとする内部精製運転に対する能力の2種類がある。一般的に内部精製運転を行なった時には純ガス運転より1割程度液化能力が低下する。原料のヘリウムガス純度が悪い場合には液化能力はさらに低下する。今回は回収ヘリウムガスの純度が99.8%以上の時に測定を行なった。

(注2) 内部精製時の液化能力は、原料ヘリウムガス純度の影響を受ける。