Osaka University Knowledge Archive

Title	豊中分室だより　2013
Author(s)	株, 喜代次
Citation	大阪大学低温センターだより. 2014, 161, p. 22-31
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27386
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

談話室

豊中分室だより　2013

低温センター 豊中分室　　株　喜代次*

1. はじめに

2003年３月、寒剤の供給・製造に40年以上携わり、その先見性のある思考力、合理性と経済性を具えた判断力、豪腕といわれた実行力をもって、“他とは一味違う”液体ヘリウム供給環境を作り上げた浅井（以下敬称略。）が、理学部で定年を迎え、配属先の豊中分室を退職した。

その浅井に出会ったのは、私が基礎工学部の採用で、理学部附属極低温実験室（後の低温センター豊中分室）に配属された36年前のことで、互いにこれ程長く“寒剤”に係わり、同じ時間を過ごすことになるとは、思いも寄らなかった。

また、同じ３月に、更新したヘリウム液化回収設備が竣工して、大阪府による完成検査、その後、試運転を繰り返し、新供給体制への準備を進めていた。

主役のヘリウム液化機は、1959年（昭和34年）の液化供給から延べ44年間使った膨張エンジン型（ピストン式）液化機を、液化性能の優れた膨張タービン型（タービン式）液化機に替えて、急増する需要に応えた。

だが、その液化機も早10年が過ぎて、老朽化による性能低下が起き、点検修理を試みたが、調子を取り戻せないまま、急増した需要に辛うじて間に合う、綱渡り的な供給を続けている。

豊中分室は、2003年を境に、浅井と共に築き上げた供給環境から、新メンバーと共に築いた供給環境へ、そして、私が退職後、新メンバーと後任の技術職員が築く供給環境へと変化していった。

今回、独自の液体ヘリウム供給環境を作り上げた経緯とその実践の方法をご紹介することで、豊中キャンパスの供給環境をよりご理解していただき、今まで以上にご利用していただくことを願っております。

2. 日本でのコリンズ式（膨張エンジン型）ヘリウム液化機の登場から衰退まで

（1959 ～ 2003.3阪大）

1952年（S27）、東北大・金研のコリンズ式ヘリウム液化機（米国、ADL社製）国内１号機から始まったヘリウム液化機設置の機運は、多くの大学に波及して、旧七帝大と呼ばれた東大、阪大、名大、九大、北大、京大に膨張エンジン型液化機が順次設置されて、1965年（昭和40年）には、その全ての大学で液体ヘリウムを寒剤に使った研究が始まった。

低温センター豊中分室に設置した膨張エンジン型ヘリウム液化機を、その更新順位で第一世代から第三世代と名づけ、世代の背景、機器の特徴、問題と対策、そして、第四世代にあたる膨張タービン型ヘリウム液化機への転向事情について述べます。

＊平成25年３月退職

2. 1. 第一世代

1950年代後半に設置したヘリウム液化機（米国、ADL社製）の特徴は、以下の通りです。

① 膨張メタルエンジン２気筒を用いて冷却。

② JT弁で液化機の液だめに液化する。（内部JT方式）

③ 純ガス（99.995%He以上）液化運転

④ 液化性能　8.0ℓ/hr

⑤ 回収ガス純化は、液体窒素を利用した高圧精製。（外部精製器）

※ JT弁：ジュールトムソン弁の略

この世代のヘリウムユーザーは、持ち運びのできる小型ガラス製実験デュワー（魔法ビン）を液体窒素予冷、洩れチェックを済ませ、各自が両手で持つか、乳母車を改良した台車に乗せて、豊中分室に運び込んだ。再度、洩れチェックを行なって、規定値内であれば汲出し順番を待ち、液化機に溜まった液体ヘリウムを、直接デュワーに汲出しを受け、振動を与えないよう慎重に研究室へ持ち帰った。

当時の汲出し量は、実験デュワーのスリットを覗きこみ、肉眼で液体ヘリウムの液面を探して、事前にマークした0.1ℓ刻みの目盛線の読みで決った。

ユーザーが希望する汲出し量は、一人当たり0.5〜1.5ℓの範囲が多く、徹夜実験の途中に液体ヘリウムが無くなって、汲み足しもできずに中断する、悔しい思いの中で実験を行なっていた。

その実験で蒸発したヘリウムガスの回収方法は、二通りあって、ひとつは現在の回収配管を使った方法で、当時は、100ｍ足らずで、その恩恵に浴したのは、理学部の少数のユーザーだけで、他のユーザーはもうひとつの方法で、徹夜明けの朝、ヘリウムガスの入った大きな袋（球形バルーン1.0〜1.5㎥）を肩にかけて、豊中分室に運んだ。

ヘリウム資源がない日本で、安い液体ヘリウムを繰り返し使うには、少しでも純度の高いヘリウムガスを多く回収して、コストの安いリサイクルをする以外、手立てがないので、回収配管の未整備の中、ユーザーは手間隙を惜しまなかった。

ヘリウムガスの液化・回収・精製の知識・技術がない日本において、米国ADL社の技術者が行なったトレーニング・技術指導が全てであり、その技術等の良し悪しを、判断できるまでには、時間が必要であった。

そんな中、需要が急増し、液化と精製に追われ始めた1967年頃から、純度低下と液化ガス不足で供給に支障をきたす深刻な事態が時々起きた。原因は、回収配管ユーザーの単純ミス（回収バルブ閉め忘れ）と負圧回収が重なって、バルブが開いている間、空気を吸い込み続け、それを回収用圧縮機が、繰り返し回収タンクに充てんした。

その処理結果は、純度低下が酷く精製を繰り替えし行なったが、必要ガス純度に達しない汚染ヘリウムの一部を廃棄した。

ここで実際の設備、施工配管を簡略化して描いた、図１、図２を基に、原因になった負圧について、ご説明いたします。

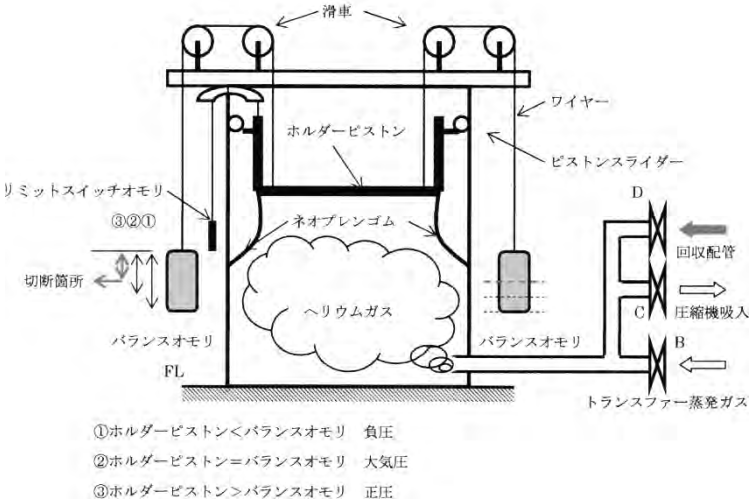

図１　ADLヘリウムガスホルダー（負圧・正圧の生成方法）.

米国では、使用した液体ヘリウムの蒸発ガスは回収していないので、図１・図２に示す、ガスホルダーに接続した回収配管は、存在しない。だが、ヘリウムのリサイクルが必要不可欠で、最小限の設備で運用を始めた阪大が、ヘリウムガスを回収する方法として、仕方無く、回収用ガスホルダーに接続したことが、負圧回収配管を誕生させたと考えられた。

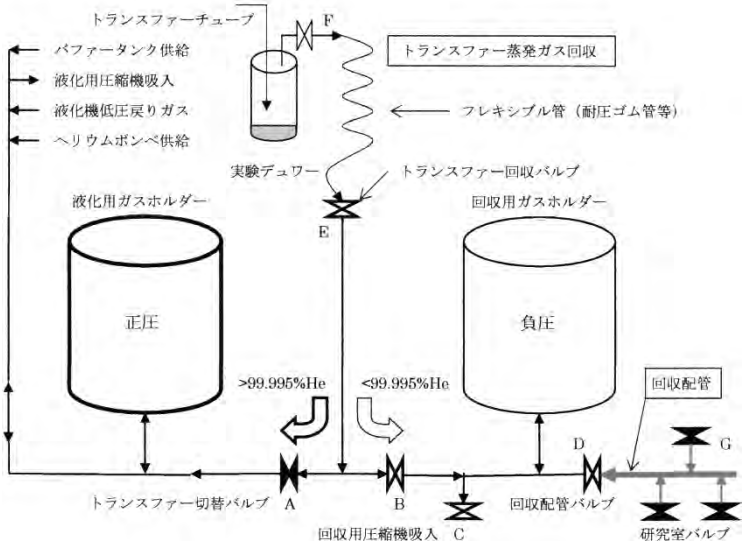

図２　ADLトランスファー蒸発ガス回収・液化切替配管フロー.

その負圧に調整された回収用ガスホルダーの本当の役割は、液化機（液だめ）と実験デュワーの圧力差を大きくしてトランスファー速度を上げることと、トランスファー中の蒸発ガスを数分間、回収用ガスホルダーに流してから、液化用ガスホルダーに切替えて、蒸発ガスをそのまま液化する方法を取っていたので、バルブ切替え時に、不純物が液化側に入らないようにすることの２点であった。

問題解決には、①大気圧以上で使用する、研究室回収専用のガスホルダーを購入する。②ユーザーに繰り返し注意して、当面はそのまま使う。③現在の負圧を、大気圧以上で液化用ガスホルダー

より少し低い圧力に設備改良をする。これら３案の何れかを実施することにした。

結論は、実行可能で効果のある③を選択して、回収用ガスホルダーの圧力調整をしているバランスオモリを、必要圧力分だけ切断して、ガスホルダー内圧を正圧にして回収することにした。

当時、このことは液化室だけの極秘話で、どのようにして先生方の承諾を得て実施するか、その方法に考え倦んでいた。

作業手順や切断機器の準備は、既に済んでいて、その結果の良し悪しに研究者の判断が必要なため、当時の供用官の先生に事情説明してご協力（巻き込んだ？）をお願いした。

今では、正圧回収が標準になっているが、負圧は先進国アメリカ直輸入のプロセスでそれを、実績のない不確かな方法に変更することを容易く承諾していただけるとは思えなかった。そこで、ユーザーが「今まで通り回収が出来ています」「気付かなかった」という既成事実を積み上げた、その上で承諾を得る奇襲作戦にでた。

クーデター勃発後、それとなくユーザーに聞いて回り、問題が起きていないことを確認してから先生方にご報告して“快く”承諾して頂いた。これが、豊中キャンパスでの正圧回収の始まりで、今までのトラブルがウソのように無くなり、回収ヘリウムガス純度管理に弾みがつく結果になった。

2. 2. 第二世代

1974年に設置したヘリウム液化機（米国、CTi社 Model 1400）の特徴は、以下の通りです。

① 膨張プラスチックエンジン２気筒を用いて冷却。

② JT弁で液化機横の液体ヘリウム貯槽（500ℓ）に液化する。（外部JT方式）

③ 純ガス液化運転と内部精製液化運転（99.995%He以下の回収ガス）

④ 液化性能　10〜35ℓ/hr（圧縮機稼動数と膨張エンジン回転数）

CTiを選択した理由は、我々の膨張エンジンの経験とADL液化機を継承、発展させた内部精製器付きの液化機の２点だった。

ある日、酸素メーカーの社員の方から「内部精製器の取り扱いについて豊中分室ほど理解して使われているところは他にない」と言われたことがあった。

恐らくそれは、CTi設置と同時に外部精製器を撤去したことへの驚きと、全面的に内部精製器に依存した液化供給をするために他大学に先駆けて、連日運転（月曜日〜金曜日の毎日）を実施し、内部精製器が詰って液化しなくなったときの迅速な対応や純ガス又は純度調整をしたガスを内部精製器に流して、液化状態を確認していたことを指していると思った。だが、当人達は、毎日毎日精製と液化（週３回）を三人で早朝から夜遅くまで掛かっていたのが一人で済み“楽”できたのと、その余った時間に何か他のことをしないと“お叱り？”を受けると思い、あれこれと手当り次第に遣ったのが、本音であった。

第二世代液化機の特徴（内部精製器と外部JTによる大型貯槽への液化）をフルに発揮するには、当分室が掲げた“液化と回収のバランスを取り、先に回収を充実して効率の良い供給をする”に基づいた回収配管の新設・増設と実験デュワーから液体ヘリウム容器供給への切替え、そして、その

回収ガス管理に必要な回収メーターの設置を行ない今まで以上に液体ヘリウムが使える環境を提供する需要拡大策（液体ヘリウム容器の低料金での貸出、占有使用、低額のヘリウムガス供給等）を実施することであった。

回収メーターは、CTiの液化ガス測定用の膜式ガスメーターがヒントになり、国産のプロパン、都市ガス用ガスメーターを転用し、回収配管については、予算の許す限り、豊中分室を中心にした“タコ足形”で施工して、不良状況箇所の早期特定を目指した。

また、研究室メーターと豊中分室側で管理する建屋（集合）メーターを同時に設置し使用開始から“毎日”記録を取ることでガス洩れの早期発見に利用することにした。

１台目のメーターを豊中分室から無償支給することで、ユーザーには大変喜ばれたが１年後“札束で頬っぺたをひっぱたかれた”思いで未回収ガス代金を支払われたと察します。ユーザーが、自主管理に“目覚める”のはこのときからであった。

2. 3. 第三世代

1992年に設置したヘリウム液化機（米国、PSI社 Model 2210）の特徴は、以下の通りです。

① 膨張プラスチックエンジン４気筒を用いて冷却液化。
　３気筒は冷却用、最終段の１気筒は、ウエットエンジンと呼ばれ液化用。

② 液化機横の液体ヘリウム貯槽（2000 ℓ）に貯める。

③ 純ガス液化運転と内部精製液化運転。

④ 液化性能　65〜125 ℓ/hr（圧縮機稼動数と膨張エンジン回転数）

豊中分室が目指した回収設備の集大成のときで、高圧ドライヤー（水蒸気吸着）、膜式精製器（窒素・酸素の分離）を使い、回収ガス蓄圧器（長尺設備）内の99.9%Heの純度維持と液化率の向上を実現した時代であり、更新当初から、“如何なる純度のガスでも回収します。ヘリウムは、廃棄しません。”をキャッチ・フレーズにしていた。

しかし、2000年（10.4万ℓ）には、急激な需要増（当初の3.5倍）と一部のユーザーの“雑な取り扱い”により回収純度の低下が頻繁に起き、膜式精製器から廃棄する不純物とともにヘリウムガス（廃棄ロス）が大量に廃棄され、その対策が課題となった。

一方、残念なのは、PSI 2200シリーズの液化機が阪大の豊中・吹田両分室に設置した２台が輸入されたに止まり、また、西日本では、膨張エンジン型液化機（CTi、KOCH）が稼動していたが、更新後は、全てが、膨張タービン型液化機（Linde、Air Liquide）に替わったと言っても過言でない状況になった。

今、ほとんどの大学が、膨張タービン型液化機に更新した、その主な理由を述べます。

① 膨張エンジン型液化機は、半自動で多少のボタン操作が必要である。膨張タービン型液化機は、全自動が可能で、パソコンのキー操作ひとつで簡単に起動・液化・停止をする。

② 膨張エンジンは、運転時間数で定期的なメンテナンスが必要。膨張タービンは、運動部が非接触で磨耗がないため、メンテナンスが少ない。要は、煩わしい（簡単な）メンテナンスが

嫌われた。

③　膨張エンジンで液化するには、1.6 MPa程度の圧力が必要で高圧ガス設備になる。膨張タービンは、液化効率を無視すれば、1.0 MPa以下の圧力で運転が可能。液化用圧縮機を高圧ガス設備から除外、検査費等のコストダウンになる。

④　膨張エンジンは、膨張効率は優れているが、機械的強度の関係で１気筒当りガス処理能力が小さいため液化性能に限界がある。現に、第四世代の液化機選定時に６気筒案がでたが、それでも豊中分室の要望（200ℓ/hr）に応えられなかった。膨張タービンは、膨張効率はやや低いが、ガス処理能力に優れており大型液化機向きであること。

3. 膨張タービン型への転向（2003.4 ～ 2013.3阪大）

私は、更新液化機等の仕様決定を控えた2002年１月、京大宇治キャンパスの化研に技術職員の楠田氏を訪ねていた。目的は、楠田氏が考案したトランスファーチューブの性能確認とその製作許可を頂くためであった。

ヘリウム液化機の大型化に伴う回収設備の拡充は済んでいたが、供給側の端末になるトランスファーチューブの移送速度の速度UPがまだであった。

更新前の100ℓ/35minの速度では、将来の供給量（容器持込方式）の増加には対応できないことが分っていたので、遠心ポンプ式（高価）も含め速度UPの条件（差圧、管径、真空度、背圧）をいろいろ考えてみたが、妙案が浮かばないまま、ある人の言葉を思い出した。

それは元鈴木商館の志村氏で、まだ更新の話が無い５年ほど前に、別件で立ち寄られた際、慌しくトランスファー作業をしている様を見るに見かねてか、

「宇治の化研に速いトランスファーチューブがあるよ」

「なぜ速いのか、私には説明できないが、豊中の人ならすぐに分かると思いますよ」

「一度、見に行ったら！」

と言って下さった。

その化研に伺い、そのトランスファーチューブを見た瞬間「あっ！逆発想だ」と自分なりに解釈して、そして「これは出る！」と直感した。その後、100ℓ容器への充てんをお願いして、移送速度100ℓ/20minを確認した。

更新当初の２倍の供給量（約16万ℓ）が維持できたのは、トランスファーに多くの時間を割いた新メンバーと楠田式トランスファーチューブ、そして、膨張タービン型液化機の性能維持が、必要不可欠であったと確信している。

3. 1. 第四世代

2003年に設置したヘリウム液化機（スイス、Linde社 TCF50）の特徴は、以下の通りです。

①　膨張タービン２基を用いて冷却。

②　液化機横の液体ヘリウム貯槽（4000ℓ）に液化する。(外部JT方式)

③　純ガス液化運転と内部精製液化運転

④　液化性能（純ガス）　200ℓ/hr（内部精製液化運転 180ℓ/hr以下）

膨張タービン型への一般的な転向理由について前文でも触れましたが、今後の供給量増加を考慮して、“200ℓ/hr以上の液化機”を要望したことで、それは膨張タービン型液化機とその性能を可能にする高圧設備の国産圧縮機を決定した事と同じであった。

初めての“国産圧縮機”が入ることになり、その知識や経験が無く、これまでの考え方でどれだけ対応ができるか、厳しいスタートになると予想をしていたので、幾つかの問題が発生しても、早めの対応で無難に乗り切ることができ、10年が過ぎた。

ここで、多少なりとも理解できた膨張タービン型液化機と過去の膨張エンジン型液化機の内部精製液化シーケンスを比較することで、両者の特徴について述べます。

初めに、時々話題になる“ノコギリ形”と“台形”についてご説明します。

この言葉をお聞きになっても、ほとんどの方は何のことかお分かりにならないと思います。この意味は、内部精製液化運転中のバファータンクの圧力値を、グラフ化したときに描かれる形を表現しています。

台形とは、精製液化が始まると同時に、バファータンクに純化ガス（99.995%He以上に精製したガス）の充てんが始まり、再生時に必要なガスを徐々に蓄える。

設定圧力以上になると充てんを中止して、その余剰ガス（純化ガス）は液化され、膨張エンジン型液化機の場合は、ここから液化率が向上する。

圧力変化のないまま精製液化運転が続き、不純物の閉塞が発生して再生モードが起きるとクリーニングガス等で消費され、タンク圧力は徐々に下がる。この圧力変化の繰り返しを膨張エンジン型液化機は、台形を描いた。

一方、Lindeの膨張タービン型液化機は、バファータンクの圧力が設定圧力になると閉塞の有無に関わらず再生モードが起動して、ガスを消費したので、その描く形がノコギリになっていた。

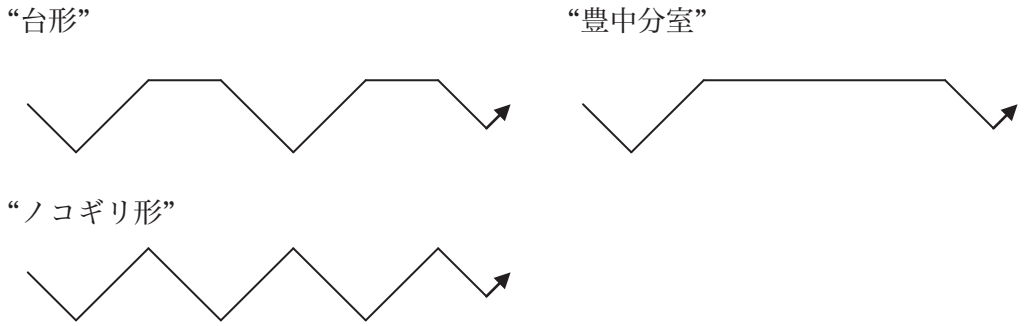

図３　バファータンクの圧力変化図.

膨張エンジン型液化機から転向したユーザーは、再生モードの回数が、理由も無く増えるこの“ノコギリ形”に疑問を持って、“台形”に変更することを日本のメーカーに進言したところ、それが、Linde社に伝わり、新シリーズの液化機から採用された。

豊中分室の液化機は、旧タイプのTCF50であったが、メーカーの技術者と相談して“台形”シー

ケンスに変更した。結果は、回収ガス純度（Max.99.93 %He）が示すように、液化終了（８時間以上）まで不純物の閉塞が発生しないので、“台形”の繰り返しではなく“台形ひとつ”を描き、安定した液化率で稼働した。

膨張エンジン型は、回収ガス純度が悪くなるにつれてノコギリ形に近づき、再生（加温と冷却）の繰り返しでバファータンクガスが、不要に消費されて液化性能が低下する。

だから、ガス純度が良いにもかかわらず、なぜ理由も無く再生を繰り返すのかと転向ユーザーの誰もが思っていたに違いない。

しかし、その“ノコギリ形”が、実は膨張タービン型液化機の“アキレスけん？”を保護する方法ではないかと思える出来事が、豊中分室で起きた。

結論を先に言うと“非接触で稼動している膨張タービン”の損傷防止は、急激な圧力変化や液化系への不純物混入を起こさないことが第一で、その工夫のひとつが“圧力変化の伴わない不純物の定量排出”と“温度コントロール”だと考えた。

膨張エンジン型の場合、不純物排出に不純物の量（重さ）を計測し、その量に比例した弁開度（全開までの可変）と温度コントロール、そして、液化機高圧側の圧力を利用した強制ブローで大気放出して、不純物の残留と混入を防いだ。

このため、膨張エンジン回転数は、ブロー直後の圧力降下分、急ブレーキがかかった様に10%以上落ちたが、問題なく運転を継続した。

このようなことが、膨張タービンで繰り返し起きたら、一溜りもなく破損すると考えられる。タービン損傷を起こさず、不純物の残留を防止して、内部精製液化運転を継続するには、“閉塞前の規則的なノコギリ形”がベターではないかと推測できた。

起きた出来事とは、純度の低い（98.0%He）回収ガスで、内部精製液化運転を行った時、再生モードの内部精製器から回収ガスバッグに、ヘリウムガスを戻す配管のガス純度が、非常に悪くなっているのに気づいた。

この時、問題なく再生モードは終了していたが、不純物の大気放出が、スムースに行われず、残留した不純物が回収系に排出したことを示していた。

現在は、ガス純度が通常に戻り“台形”シーケンスの運転でも問題なく精製液化しているが、依然として少量の不純物を排出する。その改善策として、戻り配管途中に三方弁を設置、大気放出ラインを新たに設けて、再生モードが起きたときに、簡易ヘリウム純度計（応答速度改良）で測定しながら、弁の切り替えで、回収系への不純物排出を防止している。

第四世代の回収ヘリウムガス純度管理設備は、第三世代で表面化した膜式精製器の不純物廃棄に伴うヘリウムガス（廃棄ロス）の廃棄量削減と膜式精製器に代わるガス純度向上方法の確立、24時間体制の純度監視・情報提供、定期停電に伴う回収ヘリウムガス大気放出量の削減とその自動化、回収率向上維持のために考案した。

特に膜式精製器の問題は、需要の増加が確実視されていたので、早期に結論を出す必要があり、更新当初から取り組み、３年後の2006年に回収ガス純度99.9%He、回収率89%の維持が確認でき、結果、膜式精製器の運転時間を削減することで、ヘリウムガス廃棄量の削減につなげた。以下にそ

の強化策の概略と結果をまとめた。

	強　化　策	結　果
①	ヘリウムガス純度計　7系統に各1台 酸素濃度計　3台　切替測定可能にする 露点計（既設）　2台　切替測定可能にする	回収ガス純度　99.9%He以上 （Max.99.93%He） 露点－76℃以下
②	ガスバッグ圧力変更　300Pa→10～20Pa 回収メーター交換推奨値　150～200Pa	ユーザー回収率向上 平均89%以上
③	回収ヘリウムガス純度記録計（24時間監視）	情報提供による純度向上
④	ネットワークカメラ（回収ガス中の不純物量デジタル表示器画像の配信）	リアルタイムの情報提供 不純物混入装置の捜査、特定
⑤	液化機からの戻りガス純度監視 不純物の手動大気放出弁の設置	回収ガスへの不純物混入防止
⑥	停電対策機器の設置（定期停電の15分前まで回収可能）	回収ガスの大気放出量削減
⑦	総合的な結果：　膜式精製器（in99.0→out99.9%He）の運転不用とそれに伴う回収圧縮機の稼動台数（３台）の削減（２台）。 膜式のヘリウムガス廃棄ロス削減、ランニングコストの削減。 内部精製器の性能維持で液化率が安定し、供給量の増加。 ヘリウムガス購入量の削減。（供給量倍増／購入量増なし）	

4. 第五世代への期待（2013.4 ～　阪大）

日本の（世界の？）2012年から続いたヘリウム騒動は、2013年の値上げと共に取り敢えず鎮静化しつつある。

アメリカは、ヘリウム備蓄政策に掛かる維持管理費がかさみ、その負債解消のために備蓄ヘリウム（Crude Helium）の売却を始めて、今日に至った。

その目的は、既に達成しており、現法律の改正を行なわなければ、１年程でヘリウムの売却を終了することになっていた。(2013.10.2オバマ大統領が、新法に署名。)

アメリカは、ヘリウムと天然ガスを戦略物資と捉え、自国に必要な量を備蓄温存して対ロシアのヘリウム政策を探りながら高値販売するのではないかと言われている。

そのロシアは、開発・設備資金が乏しく、仮にヘリウムを含む天然ガスを採掘したとしても、その両方を販売するマーケットシェアがないのである。

また、今回のヘリウム騒動の一因に、天然ガス価格の下落があり、これ以上の供給過多になれば、更にヘリウムの採掘生産は減少するので、採算の取れないヘリウム単独の販売などあり得ない。ロシアは、自由圏の資金とマーケット待ちで、あまり期待できないと思う。(2012.12大陽日酸系マチソン・トライガスとリンデが、ロシア国営企業ガスプロムと東シベリア開発、技術提供の覚書調印。

2018年にも生産を始める計画？）

そして、わが日本は、脱原発で天然ガスを買い求め、あげくにヘリウムを含まないシェールガスに手を出そうとしている。これでは、益々ヘリウムから遠退くばかりである。

しかし、その日本に朗報がある。“捨てる神あれば拾う神あり”である。ヘリウムガス輸入量の25%以上を消費している光ファイバー分野で、85%以上の回収ができる技術が、2000年頃に開発された。設備費は不明だが、消費している20%以上を転用できる可能性がでてきた。

今、ヘリウムガス輸入量の２%だけしか消費していない低温工学分野で、値上げを実施する不可解さと、何故、ヘリウムの回収技術があるのに早急な対策を取らないのか不思議でならない。

設備更新を熱望している豊中分室は、現在の回収率89%以上、回収純度99.9%He以上を維持して、リサイクルの重要性を訴えながら更新を待つしかないと思う。

5. まとめ

最初の液化機は、わずかな計器類と人間の五感（味覚の使い道なし）、経験に磨かれた第六感で運転を行い、液化のたびに、ジュールトムソン弁から吹出した、ヘリウムの粒が液だめに落ちていくのを、覗き窓越しに見た。

それから36年が経ち、大型の液化機に替わると、人間の感覚では計り知れない回転速度になり、ヘリウムの挙動など見ることも無く、液化が数字上の出来事に変わった。

また、トラブルの原因を探すのに、メーカーの専用分析器を使い、そのデータとの照合に質量分析まで行なった。

同じヘリウムガスを液化するのにこの差は何なのか、大雑把に扱い少々のことでは壊れない液化機と繊細な扱いを必要とするガラス細工のような大型液化機との違いを、勉強不足なのか、未だに理解できないでいる。

豊中分室の46年間を振り返ると、先の36年は、“膨張エンジン”液化機を通しての低温技術の習得の場であり、後の10年は、“膨張タービン”液化機を使い、習熟した技術を思う存分発揮する場であった。

その10年を共に乗り切り、何かとお世話になった、新メンバー（同時に退職をした隅野、まもなく定年を迎える川井、古木、第５世代の担い手笹尾、３か月の新人伊藤）と豊中分室の全てを担うDr. 竹内に感謝をし、御礼を申し上げます。

また、トランスファーチューブの制作・使用を快くご承諾して下さった京大 楠田氏、加工・測定等をしていただいた豊中地区リノベーションセンターの職員の方々、情報をいただいた元鈴木商館志村氏と社員の方々、50年間回収配管施工に携わったエスプラントの社員の方々、そして、Linde液化機の技術を教授して下さった小池酸素木下氏と関連企業の社員の方々、その他、豊中分室の運営にご協力いただいた大学・企業の多くの方々に、あらためてお礼を申し上げます。

皆様、長い間本当にありがとう御座いました。