

2019年 日本における「ヘリウム危機」問題

この覚え書きは、この「ヘリウム危機」問題が2019年になってなぜ生じ、どのような様態であって今後どのように推移すると予想されるのか、短い文書の形にしたものです。全く予備知識のない方に、この問題について知っていただきたく書いたもので、浅く広い書き方になっております。更に深くお調べになりたい方は、文末の参考文献に当たっていただき、また、2019年11月6日に東京大学物性研究所で開催されましたワークショップ「ヘリウム危機の現状と今後の課題」で使用されたスライドがwebから閲覧可能になっております [1] ので、そちらもご覧いただければ幸いです。

(本文書の文責：勝本 信吾)

目次

1	ヘリウムの生産	2
1.1	ヘリウムはどのように生産されるか	2
1.2	ヘリウム生産地	2
2	ヘリウムは何に使われるか	3
2.1	MRI(医療用途)	3
2.2	半導体	3
2.3	光ファイバー製造	4
2.4	リークテスト	4
2.5	基礎科学用途	4
3	「ヘリウム危機」はどのようにして生じるか	5
3.1	米国でのヘリウム生産・供給	5
3.2	これまでの日本の「ヘリウム危機」	6
3.3	2019年の日本のヘリウム危機	8
4	ヘリウムユーザーができること	11
4.1	使用済みヘリウムの回収再利用	11
4.2	ヘリウム危機に備えてのヘリウム備蓄	12
4.3	最後に	12

1 ヘリウムの生産

1.1 ヘリウムはどのように生産されるか

ヘリウムは宇宙では水素に次いで2番目に多い元素ですが、地上では72番目付近まで順位が落ち、希少な物質です。地上では天然のヘリウムはほとんどが質量数4のヘリウム4で、本稿では「ヘリウム」としてヘリウム4のことを指します。

天然ガスの副産物として生産されます。そのもとは、重い元素の崩壊に伴う α 線が億年単位の時間をかけ溜まったものであると言われています。ヘリウムは分子が大変小さく透過しやすく、軽くて上に逃げていくため、透過しにくいもの、例えば緻密な岩盤が蓋をした天然ガス田の天然ガス中に比較的高い濃度(0.3～1%)存在します。シェールガスは、浅い岩盤に吸蔵されたものであるため、一般にヘリウム含有量が少なく、工業的にヘリウムを取り出すのは困難です。

工程では、ヘリウム含有天然ガス中から、まず、50～70%純度の粗ヘリウムを取り出します。採掘者からは粗ヘリウムの状態で売られ、粗ヘリウムは更に精製工程を経て99.99%以上の純度のヘリウムになり、最終的にガス、あるいは液体の状態で売られます。

1.2 ヘリウム生産地

上記のような条件を満たしたものとしては、アメリカ中部のカンサス、テキサスなどのガス田が知られ、20世紀に入る頃から水素に代わる安全な気球や飛行船用ガスとして使用されるようになっていました*1。

図1に2018年現在での世界の主なヘリウム生産地/生産量を示しています。ヘリウムを採掘することを目的にガス田を開発した例はなく、天然ガスを生産してみてもヘリウム含有量が多いことに気付いたところで副産物として生産されてきました*2。アメリカのガス田は相変わらず世界最大のヘリウム生産地ですが、古くから採掘してきたガス田の生産量減少、シェールガス生産の増加などにより生産は頭打ち状態です。一方カタールは、新しく開発されたヘリウム源で、カタールの国営企業が海外資本を得て生産販売するプロジェクトを実施することで生産量を増やしてきました。ロシアではガスプロム社が生産を予定しています。アルジェリアのヘリウム生産は主にヨーロッパで消費されています。これ以外に、ポーランド、オーストラリアでも生産されています。

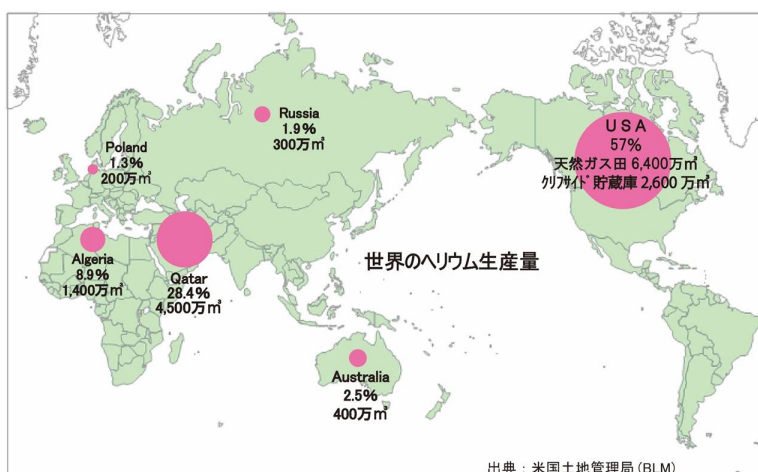


図1 2018年の世界のヘリウム生産地と生産量。データ出典は米国土地管理局。作図は(株)ガスレビュー。

*1 最終的に水素が危険で使用できないとされるのは、1937年のヒンデンブルク号事故以降です。

*2 ただし、試験結果として有機物天然ガスはほとんど出ず、窒素が主成分で、わずかに含まれるヘリウムを主生産物として採掘している「ヘリウムガス田」も存在します。

2 ヘリウムは何に使われるか

ヘリウムが広く使用されているのは、何といてもその圧倒的な熱媒体としての性能のためです。ヘリウムは極めて安定で全くの無反応性であり、室温以上の高温域でも通常の気体より桁違いに高い熱伝導率を有しています*3。20 K 以下の低温では、常圧下で気体ないし液体状態を保ち大きな比熱を持つヘリウムの完全な独壇場であり、現在実用的な超伝導線材の超伝導状態は液体ヘリウムを使用してのみ生成することができます。

2.1 MRI(医療用途)

図 2 は、2018 年にどのような用途にヘリウムが販売されたのか、販売量の割合を示しました。最大の用途は磁気共鳴画像イメージング (magnetic resonance imaging, MRI) になっています。これは、強い磁場の中で磁場勾配を付け、その中で水素や炭素の核磁気共鳴 (nuclear magnetic resonance, NMR) を行い、コンピュータトモグラフィー (CT) の手法を用いて化学シフトや緩和時間のデータを断層画像として得るものです。レントゲン撮影、X 線 CT などでは写りにくい血管の分布やがんやその他の病変も比較的明瞭に検出でき、診断に欠かせないツールになっています。

MRI を可能としているのは、撮像空間全体にかかる強い (1 ~ 3 T) 一様な磁場です (可動コイルで磁場傾斜を発生させます)。現在、最も経済的にこのようなことができるのは、NbTi(ニオブ-チタン) 線材を用いた超伝導コイルであり、これを冷却し温度を維持するために液体ヘリウムが使用されます。

これとは別に、現在 JR 東海が計画しているリニア中央新幹線も、NbTi 線材超伝導マグネットで発生させた磁場で車体を浮上させる予定になっています。液体ヘリウムは密閉空間中を循環し、冷凍機でヘリウム自身を使って冷やされています。現在のところ図 2 にはありませんが、列車製造後に初期のヘリウム注入にはかなりの量が必要になると考えられます。

2.2 半導体

Si ウェハース上に半導体素子を形成する際に、ヘリウムは様々な形で使用されます。この時、ヘリウムが化学反応せず、熱伝導率が高いことが多く利用される要因です。すなわち、化学気相成長で結晶層を積層する際に化学反応しやすい物質を運ぶキャリアガスとして使用されます。反応室内では、加熱源からの熱エネルギーを化学物質へ伝播する役割を担うこともあります。また、反応中のウェハース表面温度を均一にして反応が不均一になることを防ぐ効果もあります [2]。

更に、反応室中の高温の状態からの冷却過程で、均一、短時間、かつ反応性分子など汚染が少ない冷却を実現しています。

*3 水素は高温域の熱伝導率で言えばヘリウムより高いですが、強い反応性を持ちます。

2.3 光ファイバー製造

光ファイバーの製造は、構造を持った太いガラスの棒 (プリフォーム) を作る場所から始まります。日本で開発された気相軸付け (vapor-phase axial deposition, VAD) 法では、最初のプリフォームは粒界などで真っ白なものです。これを、高温でアニールすることで透明なものに変化させます。この時の雰囲気ガスにやはりヘリウムが大量に使用されます。更に、プリフォームを一部加熱して細い光ファイバーに線引きする工程でもヘリウムが使用されます [3]。

VAD 法による光ファイバーが登場し、コーニング社の製法に代わって世界を席巻するのが 1980 年頃からです。ヘリウムの民生利用もこれに伴い急激に増加しました。

2.4 リークテスト

ヘリウムは分子が非常に小さいため、密閉容器に漏れがあると良く透過します。また、天然の空気にはほとんど含まれていないため、例えば密閉容器を真空排気しながら、排気されるガスを質量分析器にかけ、容器外部に吹き付けたヘリウム分子が容器内に入り込むかどうかで漏れがあるかどうかをテストできます。

ヘリウムによるリークテストは極めて信頼性が高く、高信頼性を必要とされるものには非常に多く使用されています。

2.5 基礎科学用途

「ヘリウムの一滴は血の一滴」とは、物理学系の研究室に入ってきた学生に、先輩や先生から良く言われる言葉で、高価な希少物質であり、かつ研究に欠かせないものであることを表しています。アメリカ物理学会の「ヘリウム危機」レポート [5] にも、「ヘリウムは現代科学者の lifeblood」という類似の表現が使用されていました。

基礎科学においても、ヘリウムは冷却剤としてほぼ唯一無二のものです。現代の科学者にとって液体ヘリウムはそのような表現では到底表しきれない、大自然が人間に与えたプロメテウスの火のようなものです。このことは、「もしヘリウムを人間が発見しなかったら」という問いを立ててみれば納得できると思います。超流動 (これはヘリウム自身において発見されました)、超伝導、量子ホール効果のような世紀の大発見もヘリウムなしではあり得ませんでした [4]。もし、超伝導が発見されていなければ、南部陽一郎の自発的対称性の破れの見解もなく、アンダーソンが「凝縮系物理の基本概念」と呼ぶものが見つかっていないことになります [6]。20 世紀後半になり、ヘリウムを使い、広い温度域での実験、極めて鋭敏な磁気センサー、強くて一様な磁場の発生、などが可能になって物質科学、生命科学が飛躍的に発展しました。これらがもし、全くなかったら、今のような物質科学を縦横に使った生活、情報機器を使った大量データのやり取りが可能になっていたとは考えにくいと思います。

現在も、科学はヘリウムを lifeblood として進み続けています。物質の様々な性質は、室温での性質であっても、ヘリウムを使った低温での知見なしには理解できません。このため、将来ヘリウムの使用を減らすための高温超伝導の研究も、現在のヘリウムなしには進められません。MRI の項で紹介した磁気共鳴の測定は、化学や生体現象の研究にも欠かせないツールであり、定常的に液体ヘリウムを必要とします。現在は量子コンピューターもヘリウムを使用した極低温環境下で動作しています [7]。加速器を使った実験にも大量の液体ヘリウムが使用されており、欧州 CERN の LHC 加速器は、強力な磁場をヘリウムで冷却した超伝導マグネットで発生させ、その全長 27 km の真空パイプは宇宙背景輻射より低温にするため液体ヘリウムに浸されています [8]。日本の高エネルギー加速器研究機構や理化学研究所の加速器でも超伝導マグネットは多用されています。宇宙での衛星による X 線観測でも、ディテクターをヘリウムで極低温に冷却して X 線によるわずかな温度上昇を検出しています [9]。

その他、ガスの状態でも、多くの場面で無反応性、分子の小ささ、熱伝導度の大きさから、代用品のないものとして使用されます。

3 「ヘリウム危機」はどのようにして生じるか

図1のように、現在でも米国は世界最大のヘリウム生産地ですが、前世紀中は更に寡占状態でした。そこで、米国のヘリウム生産、備蓄などについてまず述べ、その後で日本の状況について考えたいと思います。ただ、3.1はやや詳細にわたり過ぎましたので、特にご関心のある方以外は、3.1.4のみご覧いただければ十分です。

3.1 米国でのヘリウム生産・供給

3.1.1 初期のころ

米国では、1900年頃からヘリウムの採掘が始まり、1920年代からヘリウムの生産・備蓄は特に風船や飛行船等の軍事物資として重要と考えられたこともあり、国営化されました。1925年、テキサス州に粗ヘリウムを貯蔵する施設を設けます。米国鉱山局 (United States Bureau of Mines, USBM) がこれを管理しました。1927年には民間への販売も開始しました。

3.1.2 ヘリウム需要の増加と民営化の推進

米国で1960年に、それまで禁じてきた民間のヘリウム生産を解禁とします。民営のヘリウム採掘で粗ヘリウムに余剰が生じると、USBMが定額で買い取り、ストックする(そのために600 kmを超えるパイプラインが引かれました) スキームができました。

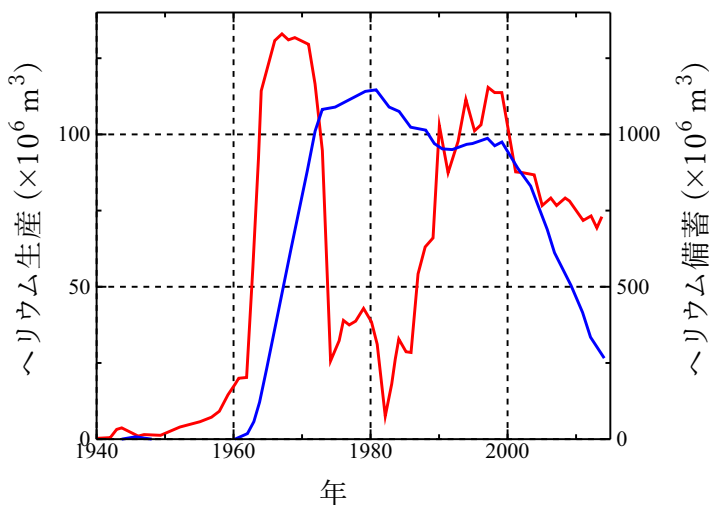


図3 米国におけるヘリウム生産(赤線)とストック(青線)の年次推移。米国地質調査所 (United States Geological Survey, USGS) のデータ。

図3は、米国でのヘリウム生産(赤線)と備蓄(青線)の年次推移を示したものです[10]。1960年の解禁以降民間生産によって、生産の急拡大が見られます。余剰が出て備蓄が進み、1975年頃に一旦大きな生産の落ち込みが生じますが、その後また拡大します。これは、2節で述べたMRIや光ファイバー製造でのヘリウム需要拡大によるものと思われます。

1990年代、活発な消費に合わせて生産も増加したため、USBMの備蓄には大きな変化が見られませんでした。これは、米国の税金を使って備蓄したヘリウムがトータルとしては使われずに塩漬けになっていることを意味します。現実にはこの備蓄は供給と価格の安定化に大きな役割を果たしていました。1996年、クリントン政権の下、米国議会は、国家ヘリウム備蓄を2005年までにすべて売却する政令を可決しまし

た(ヘリウム民営化法, Helium Privatization Act of 1996)[11]。同年、USBMは解散して、国家ヘリウム備蓄・生産はBLMに継承されます。国家自身への売却は1998年から、民間への売却は2003年から始まりました。

3.1.3 米国のヘリウム危機

これに対して、特にマイナーユーザーの科学者たちが、ヘリウム不足が米国の先端産業や基礎科学に対して悪影響を及ぼすとして警鐘を鳴らす文書を2000年に発表しています[12]。図3にあるように、民営化法よりは緩やかに売却が進められました。この間、図4にあるように、粗ヘリウムのBLM販売価格は緩やかに上昇します。2013年になり、備蓄も少なくなってきたところで、どのように売り切るかを定めるヘリウム管理法 (Helium Stewardship Act

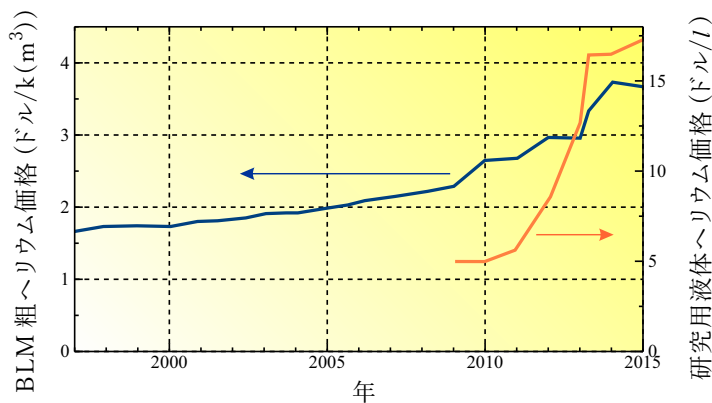


図4 BLMからの粗ヘリウム売却価格(紺の線)と研究者が購入する液体ヘリウム価格の推移。[5]より。

of 2013) がオバマ政権の下可決されます。これは、ヘリウム危機を緩和することを目的とする、としていますが、軍需目的等の一定量を残して 2021 年までに総量をオークションで売り切れ、というものです。これを受けての価格急上昇が図 4 中にも明らかに見て取れます。研究者が使用する液化ヘリウムの価格はオレンジの線で示されているように急激に上昇し、2010 年から 2015 年の間に 3 倍以上になっています (米国におけるヘリウム危機)。

この事態に対し、米国物理学会 (American Physical Society, APS), 材料科学会 (Materials Research Society, MRS), 米国化学会 (American Chemical Society, ACS) は「米国のイノベーションを維持するためのアクションプラン」と題するレポート (Science Policy Report) を発表し、やはり基礎科学向けのヘリウムが払底してしまうことへの警鐘を鳴らしています。この中で、使用済みヘリウムを回収して再利用すること、の重要性を強調しています。これは、米国では生産国であることもあってヘリウム価格が安く、それまでは基礎科学分野でも回収再利用せず、大気排出していたという事情があります。

この行動は一定の成果を生み、アメリカ国立科学財団 (National Science Foundation, NSF) の中に一定以上のヘリウム消費機関において液化機や再凝結機を備え、回収設備を設置するための基金応募枠が設定されました。これに沿って、すでに一部の機関での節約や回収再利用が始まっています。

3.1.4 2018 年での備蓄輸出終了

以上のように、2021 年までの備蓄売却が確定、と多くが考えていたわけですが、2019 年のヘリウム払い出し量・価格を決めるオークション (2018 年 8 月 31 日、アマリロ、テキサス) でこの状況が変化しました。ヘリウム取り扱い企業の 1 つエアプロダクツ (Air products) 社が残量のほぼすべてを前年の 35% 増しの価格で落札したのです [14]。これにより、BLM の備蓄は事実上なくなり、オークションは 2018 年が最後のものになりました。エアプロダクツ社は落札全量を米国国内向けに販売することを表明しており、BLM 備蓄からの輸出は 2018 年で終了したことになります。

ヘリウム関係者 (ユーザー、ガス販売業者) はその後に来る、「BLM 備蓄がない時代」に直面したことになります。それに対処すべく彼らが集まって議論する “Helium Summit 2018” が “Transitioning To Life Beyond The BLM” と称して開かれています (2018 年 10 月 3-5 日、ヒューストン、テキサス) [15]。

3.2 これまでの日本の「ヘリウム危機」

3.2.1 日本およびアジアでのヘリウム消費

日本では、1921 年頃、天然ガスについて成分調査が行われ、特に石川県付近の天然ガス田で、0.3% 程度と可採ぎりぎり程度のヘリウム含有量があったことがわかっています [16]。しかし、その後、経済的にヘリウムが採掘できるほどの量は取れないことが明らかになり、結局は全量を輸入することになります。

図 5 は、日本におけるヘリウム販売量の年推移です。図は 1994 年からですが、1980 年代後半から 2000 年までは、年率 10% 以上の成長を遂げました。これは、2 節で述べた用途の内、MRI の導入が進んだこと及び光ファイバー製造増が主要因となっています。その後、2006 年位までは販売が高原状態となります。半導体需要が伸びる一方、

ヘリウム販売量推移

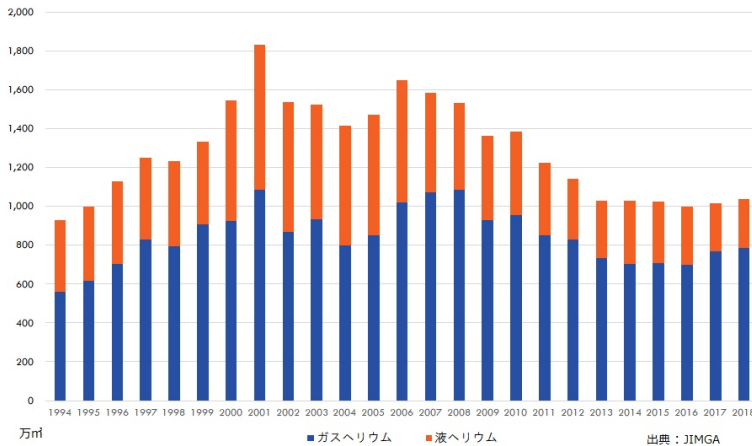


図5 日本におけるヘリウム販売量の年推移。データは、日本産業・医療ガス協会 (Japan Industrial and Medical Gas Association, JIMGA) より。作図は (株) ガスレビュー。

MRI 導入がほぼ飽和状態となりました。2006 年以降「ヘリウム危機」が時折生じるようになり、節約も始まったと見られます。MRI に冷凍機が付いて液体ヘリウムの蒸発を抑え、節約するタイプのものが現れました。また、ヘリウム調達難から光ファイバー製造では一部回収を試みるようになり、半導体工程も節約が進み、消費が縮小してきました。これらの節約も一旦止まってここ 7 年間はほぼ横ばいで推移しています。

しかし、これは、ヘリウム貿易量全体の減少・横ばいを示すものではありません。図6 はヘリウム消費に各国が占める割合と 2010 年と 2018 年での変化を示しています。日本の割合は明らかに減少し、代わってその他のアジア勢なかんずく中国が大きく消費を拡大していることがわかります。これは、主に半導体製造用で、国を挙げて注力しているためです。このことは、今回の日本のヘリウム危機を理解する上でも重要です。

3.2.2 日本 (時に世界) のヘリウム危機の事例

これまで述べてきたように、ヘリウムは希少資源で産地が限られ、日本は全量輸入しており米国 BLM のような備蓄パツファが国内にありません。このため、過去にも輸入量不足により、研究者にとっては「ヘリウム危機」、業界用語では「ヘリウムタイト」が幾度となく生じてきました。

2002 年 米国西海岸港湾ストライキ

2002 年米国西海岸の港湾ストライキがあり、主力 29 港がロックアウトされました。このため、日本へのヘリウム輸出に大きな遅れが生じました。

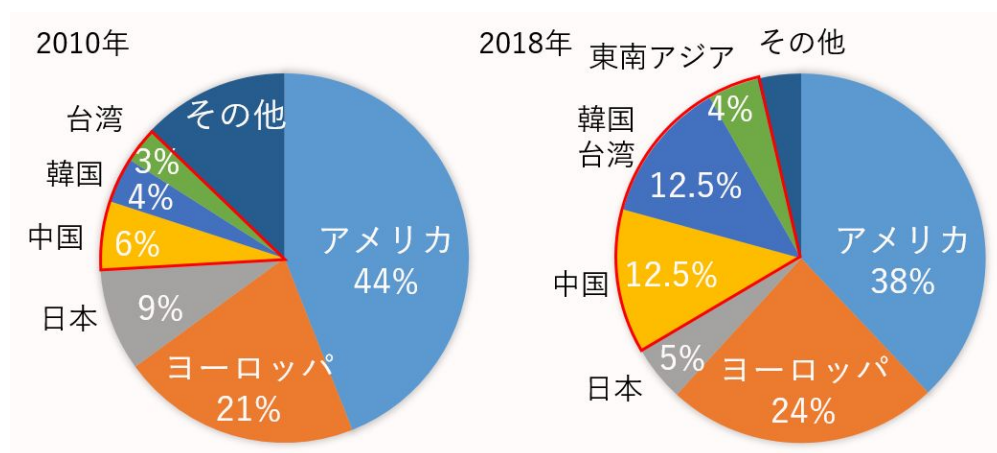


図6 ヘリウム消費割合の変遷。日本以外の東アジア地域での消費を赤い線で囲って示している。データは IHS Markit (<https://ihsmarkit.com/products/helium-chemical-economics-handbook.html>) より。

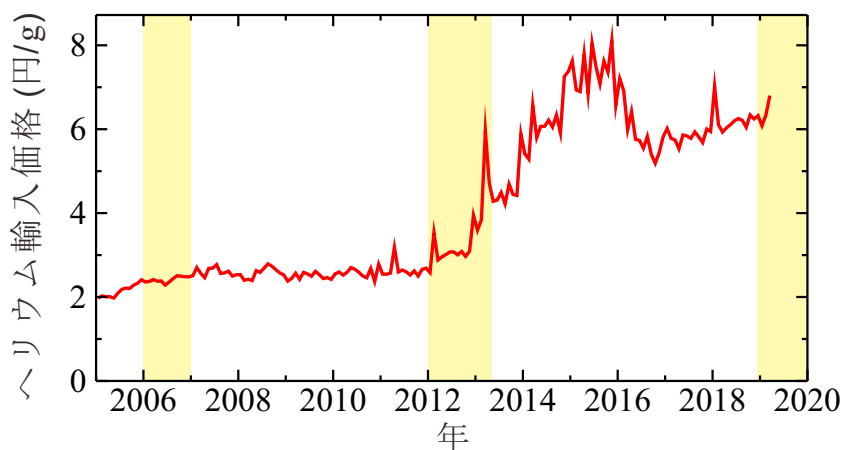


図7 日本のヘリウム輸入価格の年推移。データは、財務省貿易統計より。

2006～7 年 米国ヘリウム生産設備トラブル

BLM の 600 km パイプラインが故障，エクソン・モービルの精製プラント故障も重なり，ヘリウム出荷企業は不可抗力条項（フォース・マジュール）によって債務不履行の責任を逃れることを宣言．世界的に大きなヘリウム不足が発生しました．2011 年にも同様なヘリウム不足が発生しています。

2012～2013 年初頭

BLM，エクソン・モービルが定期修理に入り（天然ガスプラントであるため，天然ガスの都合に合わせて定期修理・点検が行われます），いずれもトラブルが発生して，予定通りの再起動ができない状態になりました．そこへ，ロサンゼルス港で港湾ストライキも発生して大きな「ヘリウム危機」となりました。

この時は，東京ディズニーランドのヘリウム風船販売が休止され，マスコミでもかなり騒がれました．半導体や光ファイバーメーカーも窮地に陥りました．一部の光ファイバーメーカーではヘリウム回収再利用を試みるようになります。

2017 年 カタール断交

米国に次ぐ生産国として成長していたカタールですが，2017 年 6 月，外交上の失敗から周辺アラブ諸国から断交・経済封鎖され，カタールからの船便に遅れが発生しました．現在も封鎖は続いているますが，仕入れルートの開発によって，日数はかかるものの輸入そのものは可能になっています。

図 7 は，日本のヘリウム輸入価格がどのように推移したかを示したもので，黄色い帯で特に大きな「ヘリウム危機」について示しています．2006～2007 年の危機に比べて，2012～2013 の危機の際の値上がりが大きくなっていますが，これには，図 4，更に後出の図 9 と見比べてみればわかるように，需給ギャップによって輸入に限らずヘリウムの価格そのものが上昇していることが大きく影響しています．とにかく，この十数年で輸入ヘリウム価格は 3 倍以上に上昇しました。

3.3 2019 年の日本のヘリウム危機

3.1.4 項に述べた「事件」により，2018 年 9 月時点で，米国からのヘリウム輸入が厳しくなることが予想され，実際エンドユーザーが年末に行う年単位契約ではヘリウム価格の激しい値上がりが生じました．実際に 2019 年 4 月の年度初めから，ヘリウム危機は本格化し，年間契約でなくスポットで買っていた研究者が，値段が高いだけではなく入手そのものが困難になる，という事態が生じました。

これに対して，東京大学物性研究所では，7 月に全国の研究者の中でもヘリウム液化施設担当の教職員及び液体ヘリウム利用者に対してヘリウム危機に関するアンケート調査を実施し，その結果を web にて公表しています [17]．その一部を図 8 に示しています．年契約で購入している機関購入の場合，ほとんどの機関で価格が大きく高騰している

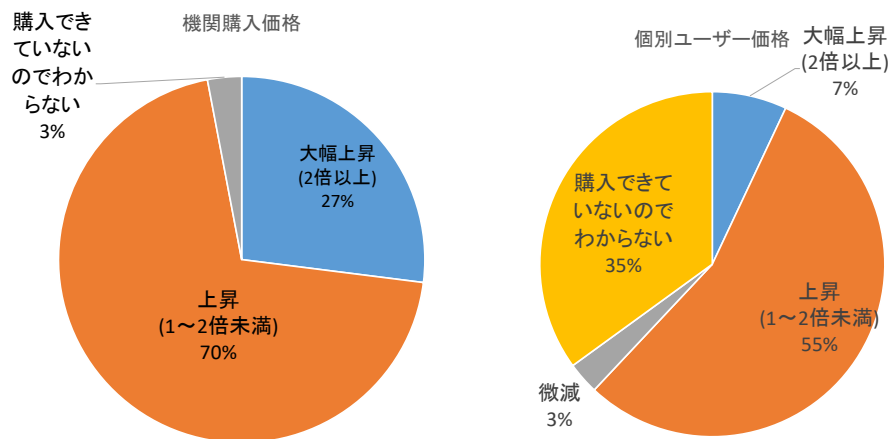


図8 2019年7月時点での、ヘリウム液化機所有機関、および液体ヘリウム個別購入者のヘリウム価格についてのアンケート結果。ヘリウム問題全国アンケート [17] より。

ことがわかります。もっと大変なのが研究上の必要に応じてスポット注文購入していた個別ユーザーで、やはり多くが値上がりしているばかりでなく、35%のユーザーが購入できていない、というショッキングな結果になっています。

この調査は、大学などの研究者を相手に行ったものですが、2節で紹介した先端産業でも様々に困難が生じていることが別の調査によりわかっています。ただし、詳細の公開は慎みたいと思います。

以上のような事態の直接の引き金は、3.1.4項のエアプロダクツ社の全量落札にあります。しかし、これまで述べてきたように、BLMの備蓄は遅くとも2021年までにはなくなることがわかっていました。一方で、日本同様米国から多くのヘリウムを輸入しているアジア勢が、図6のように消費を急拡大させていることもわかっていました。2021年の備蓄終了時の対策は打てていたのでしょうか。

図9は、2015年に経産省の依頼によってみずほ情報総研がまとめた「ヘリウムの世界需給に関する調査」[18]からの抜粋で、BLMの減産と需要の伸びにより、世界的にヘリウムが不足することを予想していました。この調査では、これに対する対応策として、1) カタールやロシアのような今後増産が望める国と外交関係を結んで、こちらから

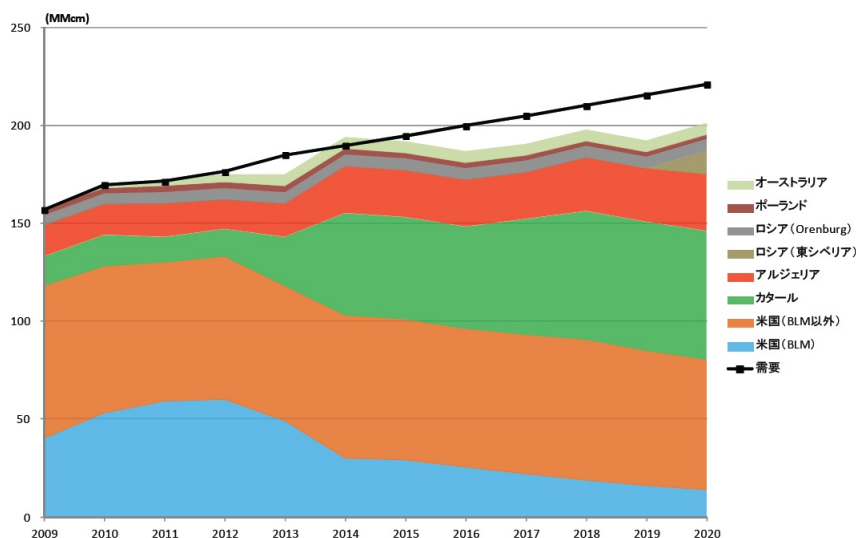


図9 2020年までの世界のヘリウム需給見通し。BLMのMineral Commodities Summariesなどを基にしたもの。2015年経産省の諮問によりみずほ情報総研が行った調査書 [18] より。

の輸入を増大させる、2) ヘリウムの代替ガスを開発したり、ヘリウムなしで生産できるプロセスを開発する、ということを推奨しています。

これまで見てきたことと、この調査とを合わせて考えると、今回 **2019 年のヘリウム危機は、3.2.2 項**で見えてきたローカルな要因によるものではなく、需給ギャップによる本質的なもので、供給力が需要の増大スピードを超えて増加しない限り続くと予想されます。ただし、3.1.4 項のローカルな要因により、日本など、BLM 備蓄ヘリウムの輸入を行っていた国では2年ほど早く始まった、ということになります。

[18] が推奨する対応策のうち、2) はもちろん、可能であればそうすべき対策です。図 5 の最近の消費の横ばい傾向には、産業側でのこのような方向での節約も資していると思われます。が、やはり2節で述べたヘリウムの圧倒的性能を利用しているところでは、なかなか完全に代替品（それも、ヘリウムより安価で入手が容易でなければならない）に替えるということは難しいと思われます。

1) は現実的な方法に思われます。実際、日本のガス企業のうち一社はカタールのヘリウム生産プロジェクト（カタール II）に参加していたため、今回のヘリウム危機の影響を比較的受けずに済んでいます（今回、東京ディズニーランドのヘリウム風船がなくなるのはそのためです）。当初の予定では、更に新しいプロジェクト（カタール III）が稼働しているはずでしたが、トラブルで遅れています。現在の搬出ルートに問題が発生しなければ、カタール III の稼働により危機はとりあえず緩和すると期待されています。また、ロシアはガスプロム社がヘリウムプラントのプロジェクトを進めており、数年以内には稼働すると期待されています（当初予定は 2021 年）。

これらのプロジェクトが今後すべて予定通り稼働し、かつ日本へもヘリウムを輸出してくれれば、数年後には当面の危機は沈静化すると予想されます。ただし、これは希望的な観測です。悲観的な予想は、これら増産されるヘリウムは高値で他国へ流れる、というものです。実際、カタールからのヘリウムは本来日本以外の東アジア向けに考えられていたもので、ヘリウム危機のために日本にも振り向けてもらっているものです。他のアジア諸国のユーザーは日本より高額なヘリウムを買っていると言われています。ヘリウムを提供する側も、ビジネスですから当然ながら高額代金を支払う方へ多くのヘリウムを供給しています。ここ数年、東アジア諸国中でも特に中国が基礎研究や先端産業に日本とは桁違いの資金を投じていることを考えると、上記のような悲観的予想が実現する可能性も考える必要があるかと思われます。

4 ヘリウムユーザーができること

以上のように、ヘリウムのような希少であるにもかかわらず大量に使用され、全量を輸入に頼っている物質について、「供給危機」が発生した時、エンドユーザーである研究者が何かできることはあるのでしょうか。

4.1 使用済みヘリウムの回収再利用

図2を再度見ていただくと、MRI、半導体、光ファイバーでほぼ全体の半分を占めています。これらの用途では、使用後の気体ヘリウムは多くは大気放出してしまいます。しかし、これらは、密閉容器中あるいはそれに準じる状態でヘリウムを使用していますので、排出ガス中からヘリウムを分離精製できればガスとして取り戻すことができるはずです。これを液化機で液化すれば、液体ヘリウムとして用いることもできます。一方、同じ図の中で「低温工学」に分類されている研究者で、研究サイトにヘリウム精製機、液化機、回収配管を備えている場合は、高価なヘリウムを有効に使用するため、高いところでは90%を超える回収率で再利用しています。

上に示したヘリウムの用途の中で、MRIおよび低温工学で大気放出しているヘリウムは、高い純度を持ち、回収再利用が比較的容易です。また、ヘリウムの低温でも常圧では固化せず吸着もされにくいという性質を使うと、分離精製は物理的に行うことができます。半導体や光ファイバーの製造用途のヘリウムも、研究開発が必要にはなりますが、十分再利用可能と思われます。

回収再利用はそれぞれのサイトでローカルに行うことが搬送の手間がなく理想的ですが、回収液化設備に大きな初期投資を必要とするため、最初はすでに所有している施設のものを共有リソースとして使用することを考えます。図10は、施設間のヘリウム運搬をするための考え得るスキームを示しています。東京大学物性研究所や大阪大学の低温液化室では、実際にこのような方法での回収再液化事業にこの秋から取り組んでいます。液化機を持つサイトの多くでこのような事業を行い、全体としてのヘリウム使用量を多少なりとも抑えられれば、ヘリウム危機の回避に資す

回収設備等を持たない施設からの回収案

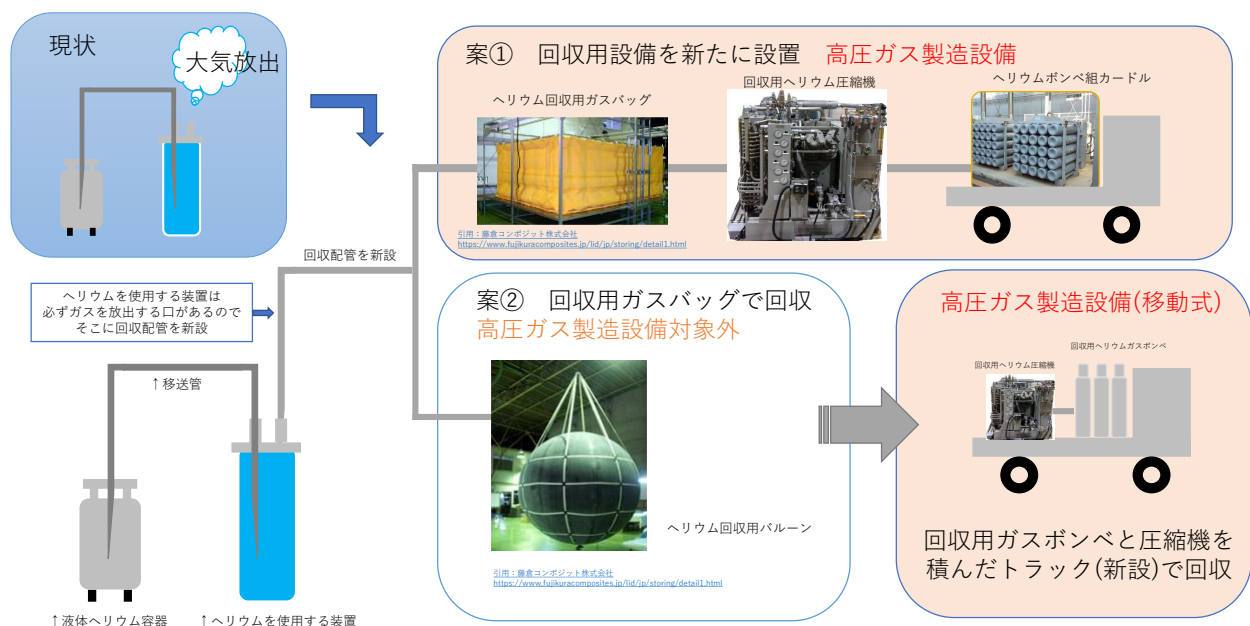


図10 現在、回収設備を持たない施設において使用後に大気放出しているヘリウムを回収し再液化、再利用するための考えられるスキーム。作図は、東大物性研低温液化室 鷲山玲子氏。

ることになると期待します。図 10 の運搬を実際に担うことになるのは、ガス企業ですので、このスキームが実際に働くかどうかはこれが企業にとってペイするかどうかにかかっています。より効率的な収集運搬法を探っていく必要があります。

4.2 ヘリウム危機に備えてのヘリウム備蓄

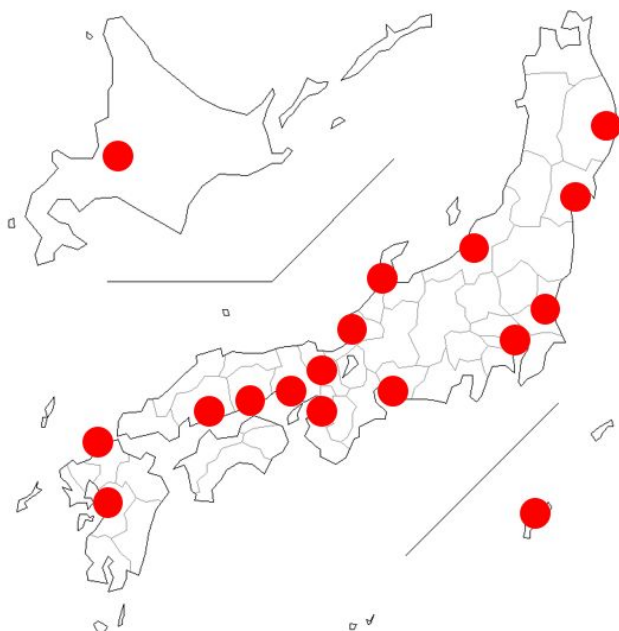


図 11 日本のヘリウム関連低温施設を赤丸で示した。

3.1.2 項で述べたように、米国で USBM のヘリウム備蓄量が横ばいだった頃も、備蓄は何もしていなかったわけではなく、価格や供給量の安定化に寄与していました。今後ヘリウムの供給に一時的に余裕が生じたとしても、事故や国際情勢でいつ何時、危機が訪れないとも限りません。天然ガスに関しては、日本には 5 基の巨大な施設があり、いざという時の輸入トラブルに備えています。ヘリウムに関しても、そのような施設を置き、危機に対応できるようにできれば理想的です。

しかし、ヘリウムと天然ガスとでは使用量が桁違いです。同じようなことをしようというのは必要資金と需要の点を考えれば難しいと思われます。ここでは、分散型の備蓄システムを提案したいと思います。

図 11 に示したように、日本には各地にヘリウムに関連した低温施設（その内の相当数が液化機を保有）が存在します。これらの多くはヘリウムの取り扱いに必要な各種資格を備えていて、高圧ガスなどの取り扱いが可能です。そこで、これらをこの地域の備蓄ハブとして、この近隣に長尺カードルなどによる現実的な

小規模備蓄設備を配置します。これらは IoT でインターネットに接続し、ハブで管理し、更に全国からヘリウムの需要に応じて備蓄量を融通するようにします。

特に液体ヘリウムは天然ガスに比べても運搬が難しく、長距離の輸送にも困難が大きいので分散して備蓄する方が便利と考えられます。また分散型は、予算の余裕に合わせて少しずつ備蓄量を増やしていけるので、いきなり巨額の予算を必要としない点も好ましいと思われます。

4.3 最後に

世界に先駆けて日本に本格的なヘリウム危機がやってきたわけですが、これをむしろ、希少物質をリサイクルする社会を作っていくモデルケースにできないか、それによって危機を好機に転じることができはすまいか、ヘリウムユーザーは考え、行動していきたいと考えております。

参考文献

- [1] ISSP ワークショップ「ヘリウム危機の現状と今後の課題」スライド
<https://yamashita.issp.u-tokyo.ac.jp/ISSPWS191106/pawapo.html>
- [2] 村岡 宏一, 表面科学 **26**, 274 (2005); <https://doi.org/10.1380/jsssj.26.274>
- [3] 河内 正夫, NTT 技術ジャーナル 2013.3, p.42; <https://www.ntt.co.jp/journal/1303/files/jn201303042.pdf>
- [4] P.V.E McClintock, J.K. Wigmore, D.J. Meredith 著, 藤田 敏三, 大林 康二, 前野 悦輝 訳 「低温物理入門」 (丸善, 1988).
- [5] APS Helium Report; <https://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/helium-crisis.cfm>
- [6] P. W. Anderson, "Basic Notions of Condensed Matter Physics" (CRC Press, 1997).
- [7] Bluefors PR page "IBM is Making the World's First Integrated Quantum System"
<https://bluefors.com/ibm-integrated-quantum-system/>
- [8] CERN news "LHC filling with liquid helium at 4 kelvin"
<https://home.cern/news/news/engineering/lhc-filling-liquid-helium-4-kelvin>
- [9] JAXA 「空と宙」2012, 7/8 月号, page 04
http://www.aero.jaxa.jp/publication/magazine/pdf/sorasora_no48.pdf
- [10] Wikipedia "Helium production in the United States";
https://en.wikipedia.org/wiki/Helium_production_in_the_United_States
- [11] Wikipedia "Helium privatization act of 1996";
https://en.wikipedia.org/wiki/Helium_Privatization_Act_of_1996
- [12] National Research Council. 2000. The Impact of Selling the Federal Helium Reserve. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9860>
- [13] Helium Stewardship Act of 2013;
<https://www.congress.gov/113/plaws/publ40/PLAW-113publ40.pdf>
- [14] "BLM reaps surprising windfall from FY 2019 Crude Helium Auction", gas world;
<https://www.gasworld.com/blm-reaps-windfall-from-fy-2019-helium-auction/2015344.article>
- [15] Helium Summit 2018;
<https://www.gasworldconferences.com/conference/helium-summit-2018/>
- [16] 地質ニュース 1961 年 11 月号 No.87 (産総研, 地質調査総合センター) p.1, 「ヘリウム資源について」;
https://www.gsj.jp/data/chishitsunews/61_11_01.pdf
- [17] ヘリウム問題全国アンケート;
http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/cryogenic/info/lhe_jp_survey.pdf
- [18] みずほ情報総研「ヘリウムの世界需給に関する調査」;
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2015fy/000155.pdf

お世話になった方々

本小文をまとめるにあたり，以下の方々には大変お世話になりました．以下に列挙して感謝申し上げます．もちろん，本小文の文責はすべて筆者 勝本信吾にあります．

以下，敬称略，順不同

東京大学 物性研究所	鷺山 玲子
東京大学 物性研究所	土屋 光
東京大学 物性研究所	山下 穰
東京大学 物性研究所	森 初果
東京大学 物性研究所	餅田 円
名古屋工業大学 工学研究科	大原 繁男
大阪大学 理学研究科	萩原 政幸
東京大学 理学系研究科	福山 寛
ガスレビュー	小泉 善樹