

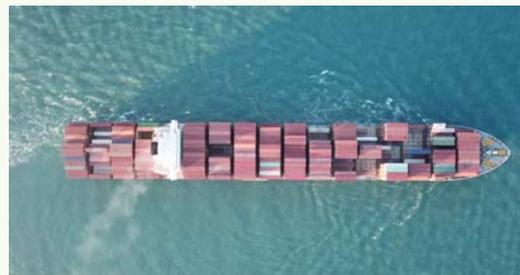
国家戦略としてのヘリウム備蓄 ～ BLMを訪問して

物性研WS「ヘリウム危機の現状と今後の課題」2019年11月6日(公開用)

1. はじめに (海外のヘリウム事情)
2. 米国のヘリウム戦略
3. BLMヘリウム備蓄施設の訪問
4. ヘリウム危機への対策私案
5. ヘリウム・ゼロロスキャンパス・プロジェクト
(東大低温センターの取り組み)

東京大学 大学院理学系研究科
低温センター 福山 寛

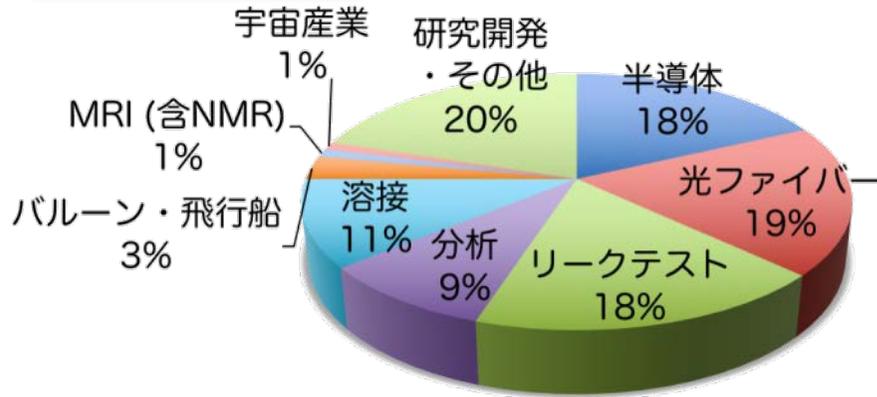
大越慎一 センター長



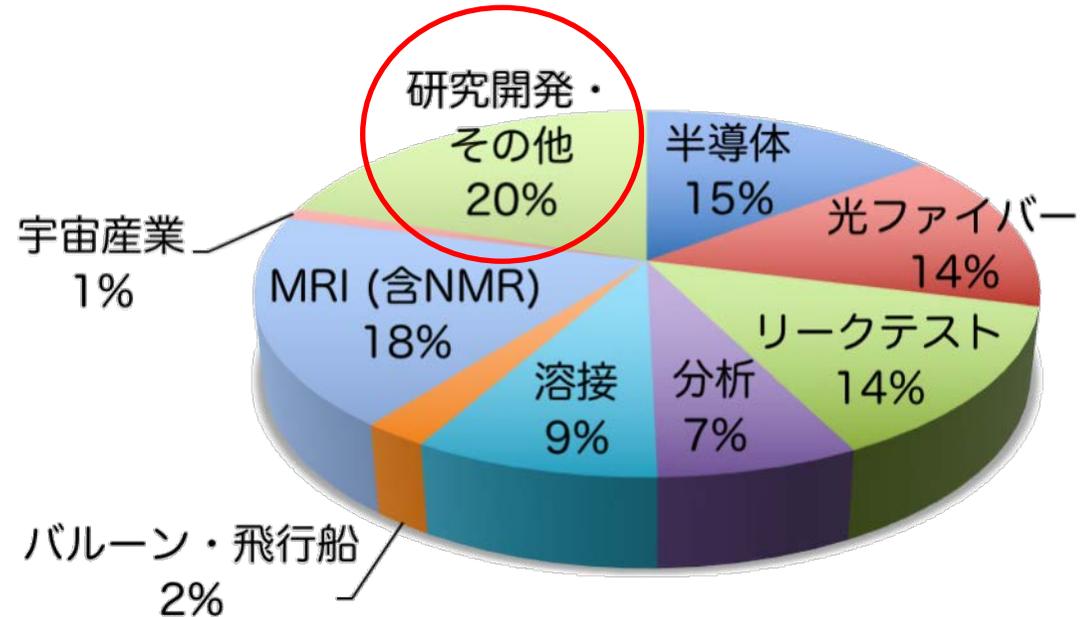
ヘリウムの国内需要と利用分野 (2018年)

(社) 日本産業・医療ガス協会のデータを参考に作成

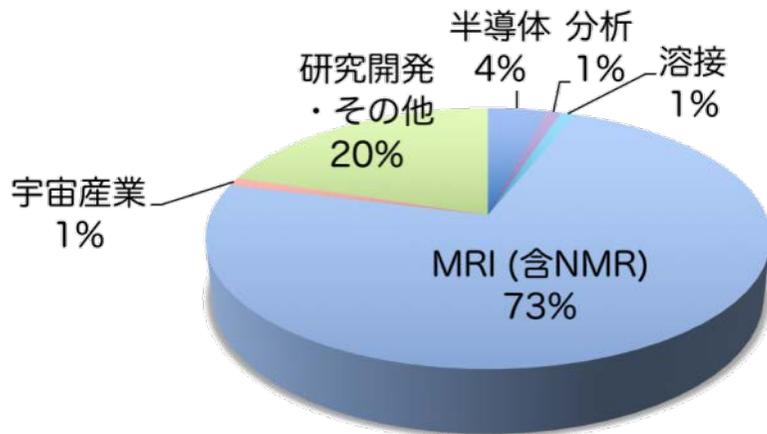
ヘリウムガス 7,850千m³



全ヘリウム 10,380千m³
(ガス換算)



液体ヘリウム 2,530千m³
(ガス換算)



我々はマイナー・カスタマー

※ ガス1 m³ は 液1.27 L に相当

世界の大学研究室のヘリウム事情

ISSUES & EVENTS

Helium users are at the mercy of suppliers

Researchers seek government help in addressing supply shortage as prices are expected to continue soaring.



D. Kramer, Physics Today, April 2019, p.26



P. Kornbluth, Gasworld US Edition, March 2019, p.26

世界全体の供給不足量は約10%で、この1年で大学の購入価格は3～5割増しになったと推測される。ただし、状況は契約内容やベンダーによって大きく異なる

オーストリア

- ・まったく入手できない。隣国の大学の助力を受けている

ドイツ

- ・この半年～1年で10～15€/m³から18～25€/m³に値上がったが、量はますます確保できている
- ・2019年5月までは8€/m³だったが、10～12€/m³に値上がった。量は確保できている

米国

- ・9→19\$/Lに値上がった。
- ・19→27\$/Lに値上がった (小口ユーザー)

カナダ

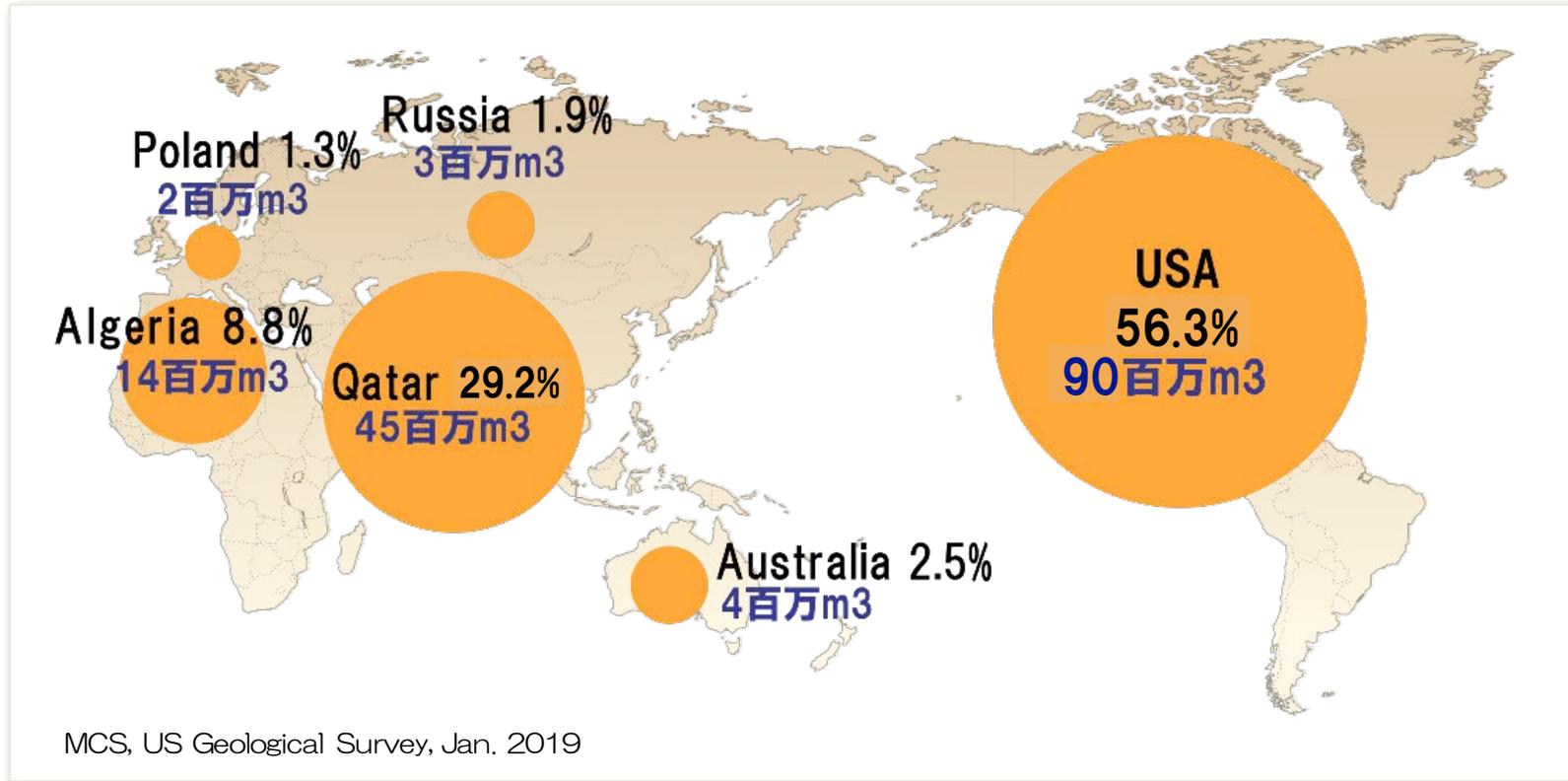
- ・今のところ問題はない。13.5 CND/Lで液購入している

フィンランド

- ・今のところ問題はない。業者とは特別な契約をしている

2019年8～9月時点の情報

世界のヘリウムガス生産量 (2018年)



- 天然ガスとともに地中から産し (α 崩壊)、空気中にはほとんど含有されない。
- 日本は100%輸入に頼る**稀少天然資源**
- うち75%を米国から、25%をカタールから輸入
(2017年 財務省貿易統計)

全生産量

1億6千万m³
(ガス換算)

米国のヘリウム戦略 (Federal Helium Program)

第一次世界大戦の前後から、軍事目的でヘリウムの重要性が認識される

- 1925 — **ヘリウム法** (Helium Act of 1925)
全てのヘリウム事業を国有化して米国鉱山局 (U.S. Bureau of Mines) が所轄。国防、**国家備蓄** (Federal Helium Reserve) が始まる
- 1927 — **同法の改正** (Amendments to the Helium Act of 1925)
民間へのヘリウム販売を開始
- 1960 — **同法の改正** (Amendments to the Helium Act of 1925)
カンザス・オクラホマ・テキサスの3州にまたがる民間のガス田から粗ヘリウムを長期に定額で(1972年まで)買い上げ、テキサス州アマリロ市のクリフサイドガス田までパイプラインで導いて、直下のブッシュドームに大規模な**国家備蓄**を始める
- 1996 — **ヘリウム民営化法** (Helium Privatization Act of 1996)
パイプラインやクリフサイド施設などに投下した税金を回収するため、**2015年までに**国家備蓄の粗ヘリウムガスを民間に売却することが決定。鉱山局に変わって内務省のBLM (Bureau of land management) が事業を継承
- 2013 — **ヘリウム管理法** (Helium Stewardship Act of 2013)
ガス売却の最終段階を4つのフェーズに分け、軍需・宇宙のために残す30億ft³になるまで競売を併用しつつ売却し、その後、残ヘリウムと共に設備を民間に払い下げる
- 2018 — BLMからの最後の粗ヘリウムガス競売

ヘリウム管理法の実施 (Helium Stewardship Act of 2013)

フェーズA 2013年10月2日～2014年9月30日
ヘリウム民営化法のまま

フェーズB 2014年10月1日～備蓄が30億ft³
(83百万m³：米国需要の約2年分) に達する時まで
(実際には2018年9月30日まで5年間実施)

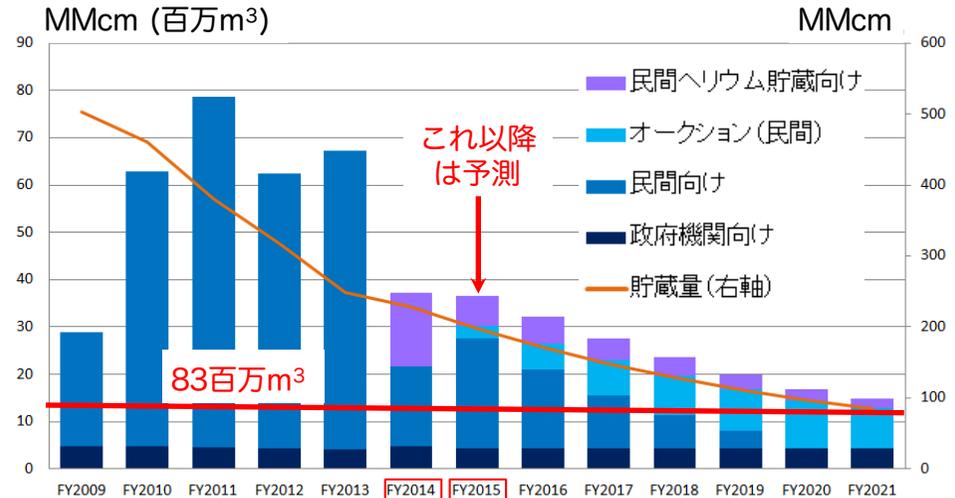
オークション売却とその平均落札値での売却を
組み合わせて、前者の割合を増やしなが
ら、毎年備蓄を民間会社に売却する

フェーズC 2018年10月1日～遅くとも2021年
9月30日まで

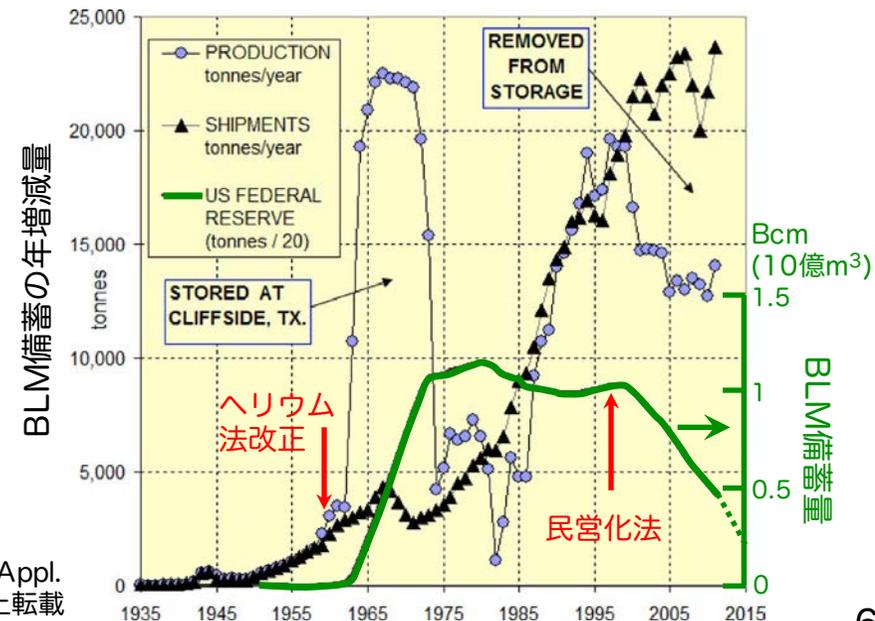
備蓄ガスは連邦ユーザーのみに売却 (基本的に
NASAと軍事関係のみ)

フェーズD 2018年10月1日～遅くとも2021年9
月30日まで

備蓄ガスの管理も含めてBLMの施設を全て民間に
売却する



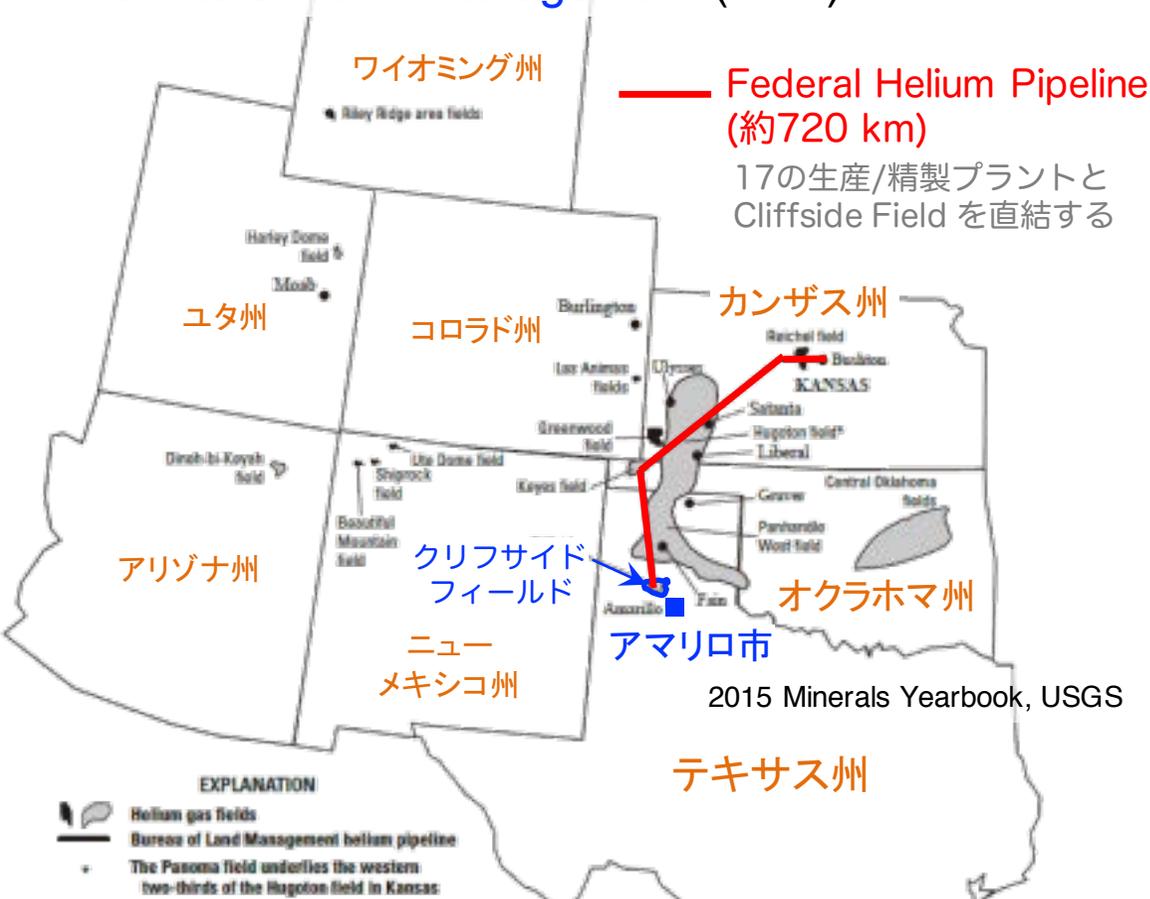
みずほ情報総研「H26ヘリウムの世界需給に関する調査」より転載



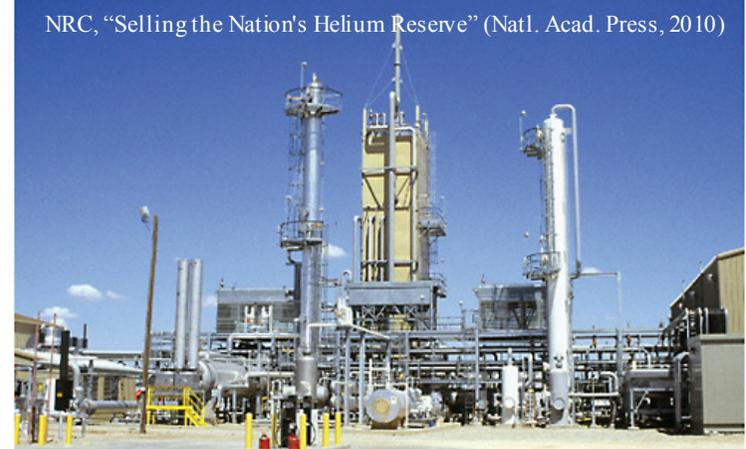
B. A. Glowacki et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. 23, No.3 (2013)より一部修正の上転載

米国BLMのヘリウム国家備蓄基地

Cliffside Field near Amarillo, TX, USA operated by Bureau of Land Management (BLM)



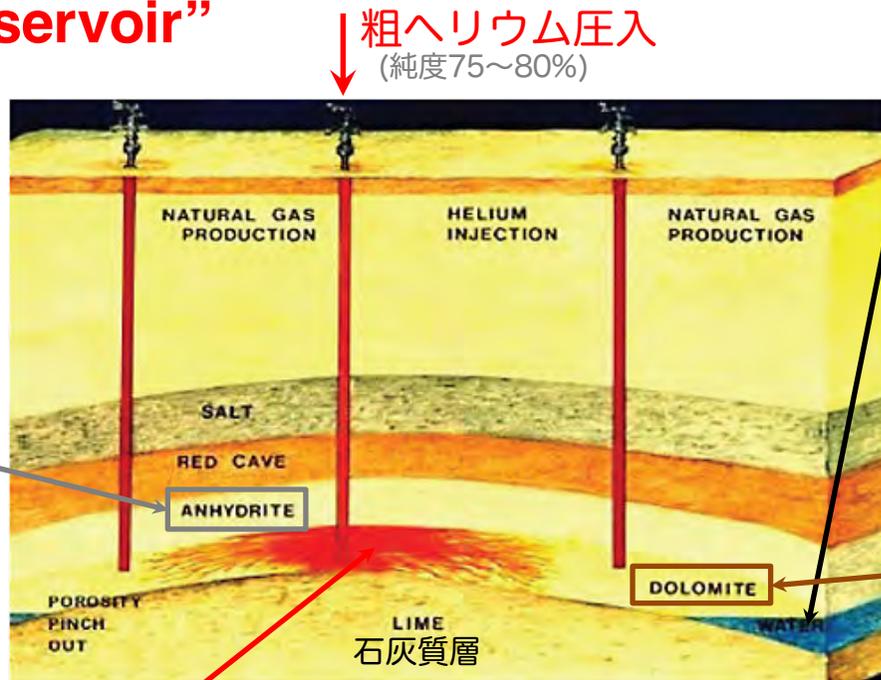
Federal Helium Pipeline (約720 km)
17の生産/精製プラントとCliffside Field を直結する



Cliffside Field 地下の巨大天然ヘリウム貯槽

“Bush Dome Reservoir”

古いヘリウムガス田を利用



NRC, "Selling the Nation's Helium Reserve" (Natl. Acad. Press, 2010)

貯蔵されたヘリウム 地中の天然ガスと混合

ガス/水接触 北・東側のキャップ

(南・西側は地層の空孔率の違いでキャップ)



Brown Dolomite:

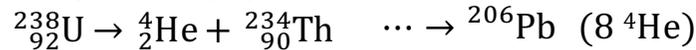
苦灰石 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) の一種
ヘリウムを溜め込む地層
(空孔率10%)

Anhydrite:
硬石膏 (CaSO_4)
ヘリウムを閉じ込めるキャップ層

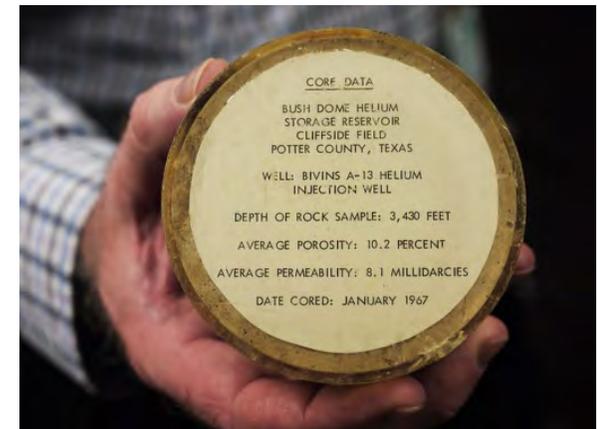


数億年にわたって地中の放射性物質がアルファして生成したヘリウムが、特別な地層に蓄えられたのがヘリウムガス田

半減期: 45億年



半減期: 140億年



CORE DATA

BUSH DOME HELIUM STORAGE RESERVOIR
CLIFFSIDE FIELD
POTTER COUNTY, TEXAS

WELL: BIVINS A-13 HELIUM INJECTION WELL

DEPTH OF ROCK SAMPLE: 3,430 FEET

AVERAGE POROSITY: 10.2 PERCENT

AVERAGE PERMEABILITY: 8.1 MILLIDARCIES

DATE CORED: JANUARY 1967

Bush Domeの維持管理

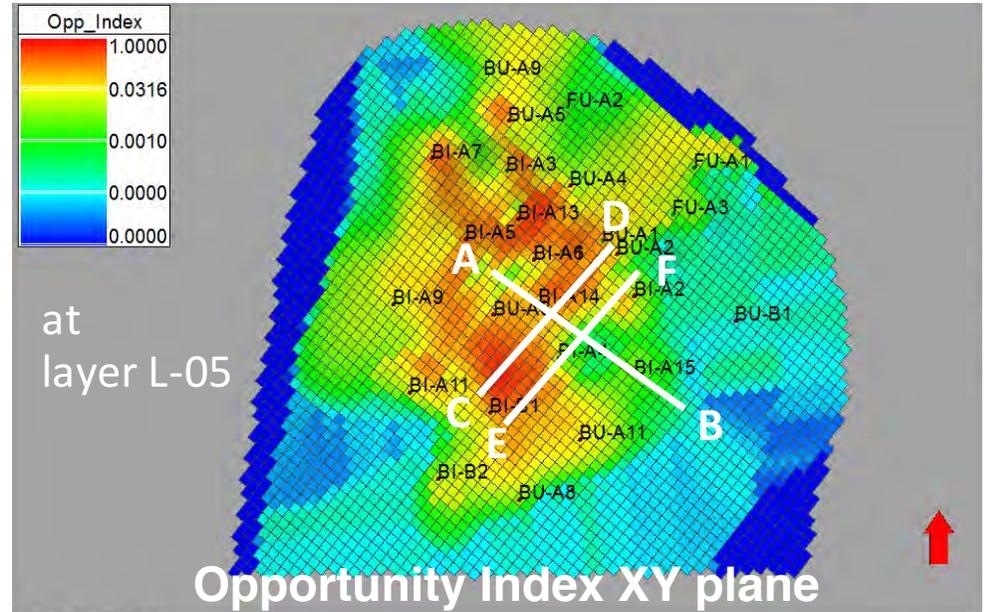
ブッシュドームのスケール：

幅：～1,100 m

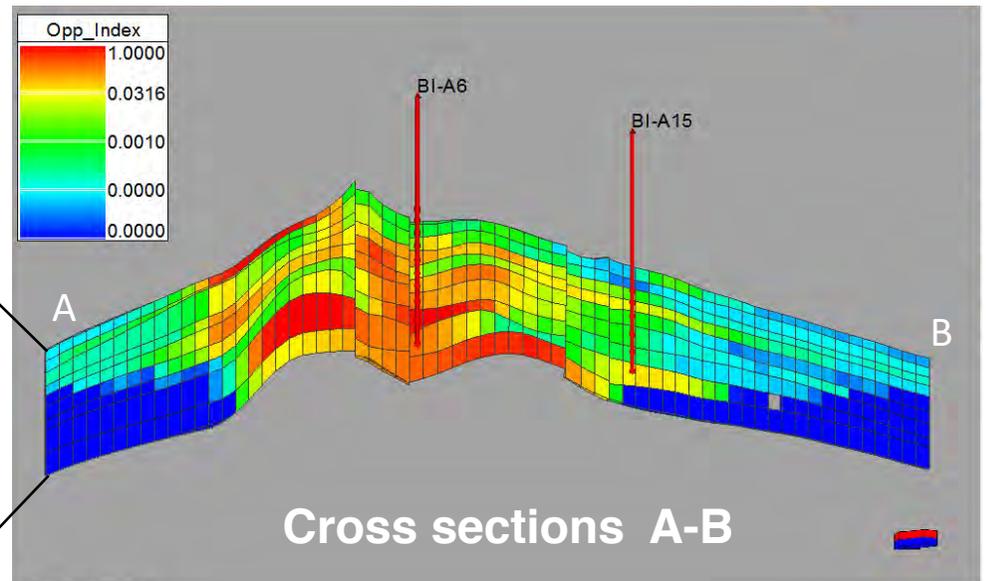
深さ：～90 m

最大貯蔵能力：12億m³
(世界需要の8年分)

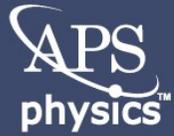
ガス田の状況を各種の物理化学データを取得して常時モニタリングし、それらと整合するよう3次元モデルを常に更新しつつシミュレーションし(Edge Geoscience Inc)、維持管理している。



GEOLOGICAL UNITS	SIMULATION LAYERING	
	LAYERS	SURFACES
PANHANDLE	1	P-05 AND P-06
	2	P-06 AND P-07
	3	P-07 AND L-01
BROWN DOLOMITE	4	L-01 AND L-02
	5	L-02 AND L-03
	6	L-03 AND L-04
	7	L-04 AND L-05
	8	L-05 AND L-06
	9	L-06 AND L-07
	10	L-07 AND L-08
	11	L-08 AND L-09
	12	L-09 AND L-10



米国の科学コミュニティのヘリウム危機対応



MATERIALS
RESEARCH
SOCIETY



ACS
Chemistry for Life®

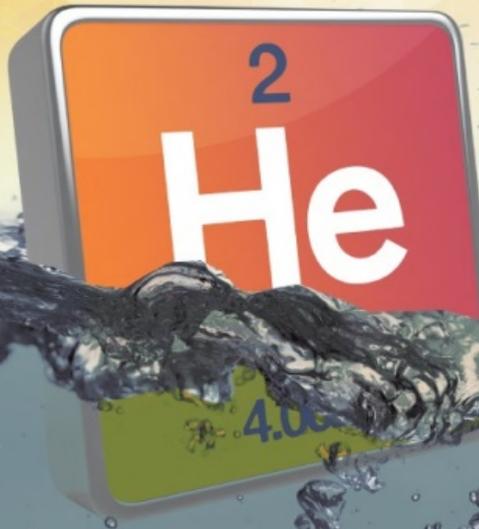
物理学会 + 材料科学会 + アメリカ化学会

A SCIENCE POLICY REPORT ISSUED BY American Physical Society,
Material Research Society, American Chemical Society, (2016)

Nov. 2016

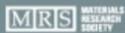
RESPONDING TO

The U.S. Research Community's
Liquid Helium Crisis



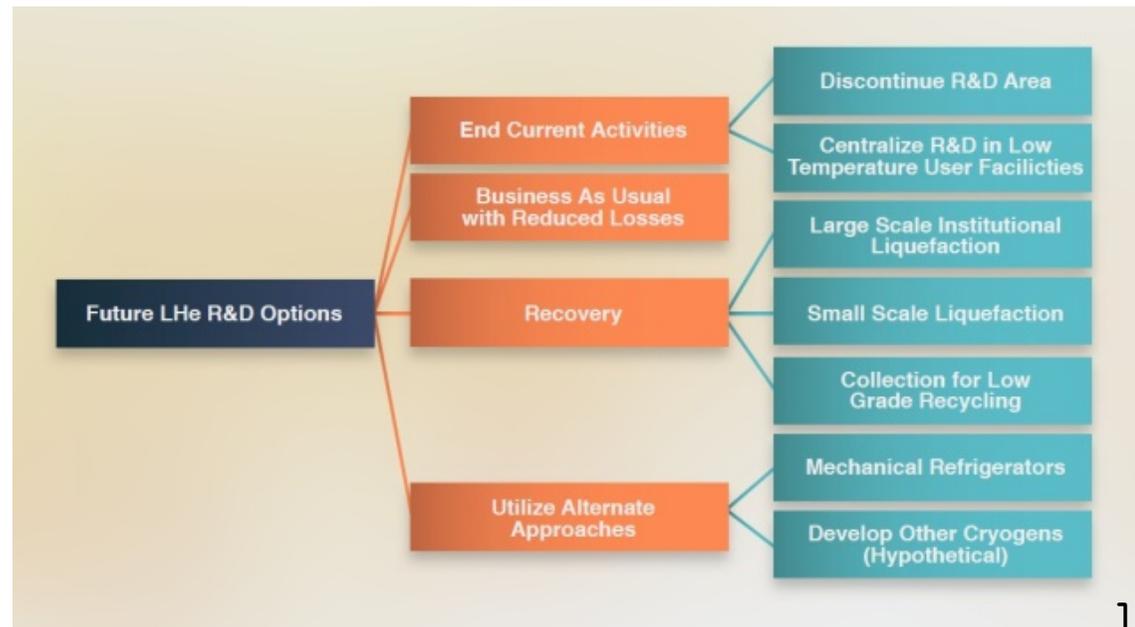
An Action Plan to Preserve U.S. Innovation

A SCIENCE POLICY REPORT ISSUED BY: American Physical Society, Materials Research Society, American Chemical Society
Representing more than 200,000 scientists, engineers, and innovators worldwide



回収・再液化の推奨

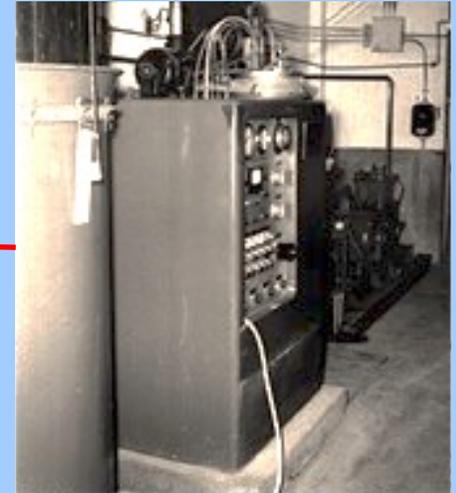
- 30,000 L/年以上の組織へは20-50L/h液化機
- それ以下の組織には冷凍機ベースの小規模液化機
←NSFグラント (6件、計約1億円/年)



全国の大学・研究所のヘリウムリサイクル施設

日本のアカデミアでは1952年以来、
一貫してヘリウムリサイクル施設を
維持・拡充してきた (世界最先端)

ヘリウム危機のいま、リサイ
クル技術・ノウハウを社会に
還元できるはず (社会貢献)



ADL社製コリンズ液化機(1952-1970)
東北大学金属材料研究所
http://itsd.imr.tohoku.ac.jp/liquefier_history.html
より転載

データ出典

- ・琉球大学 極低温センター資料「各地の低温施設・液化機のある(あった)施設」<http://www.ltc.u-ryukyu.ac.jp/teion.html>
- ・Google MAP / 編集：熊本大学 パルスパワー研究所 極低温液化室 全国「ヘリウム液化装置」MAP

国全体でヘリウム危機を緩和するには

希少天然資源かつ戦略物質のヘリウムを100%輸入に頼る日本は、
国ぐるみで一定量の**備蓄**と**回収・再利用**の促進に取り組むべき

具体的にどうするか？

1. ヘリウムガス田のない日本では、**地下貯蔵は不可能**
2. 高压ガス貯蔵は、密度が十分でなく、**大量貯蔵には不向き**



海外から大型コンテナで液体で輸入するのだから、
コンテナによる**液化貯蔵が最適** … **天然ガスと同じ (LNG)**



液体ヘリウム
コンテナ (40千L)

体積は常温常圧の
気体の 1/750

Gardner Cryogenics社



ヘリウム高压ガスボンベ
(3千m³)

液体ヘリウムコンテナに
比べて、5倍の体積、2倍
の初期投資が必要

日本の石油・石油天然(LP)ガスの備蓄 (参考)

経産省・資源エネルギー庁およびJOGMEC資料より

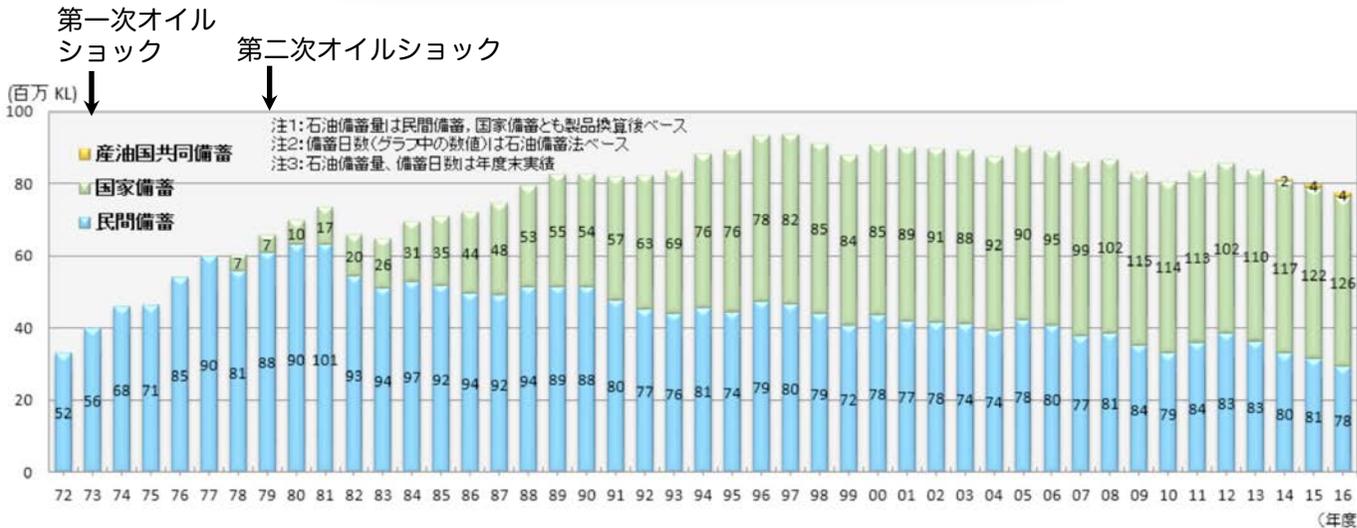
石油備蓄 (約200日分)

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) 前身：石油公団、金属鉱業事業団



石油備蓄法 (1975)

日本政府の支援の元で国内の民間原油タンクを産油国の国営石油会社に貸与し、東アジア向けの中継・備蓄基地として利用させる (非常時は国向けに優先供給)



天然ガス(メタン等)の例は参考になる

ガス田と直結するパイプラインが普及する欧米では、枯渇油・ガス田、帯水層、岩塩層を利用した地下貯蔵が主流

一方、ほぼ全量を液化天然ガス(LNG：密度600倍)として輸入(98%)する日本では、液化貯蔵が主流

天然ガスはヘリウムと事情が似ている

ただし、液化温度が110 Kと低く、それよりはるかに備蓄しやすい石油(備蓄200日分)や室温加圧(0.2 MPa)で液化するLPガス(備蓄90日分)があるので、備蓄量は20日にとどまる。

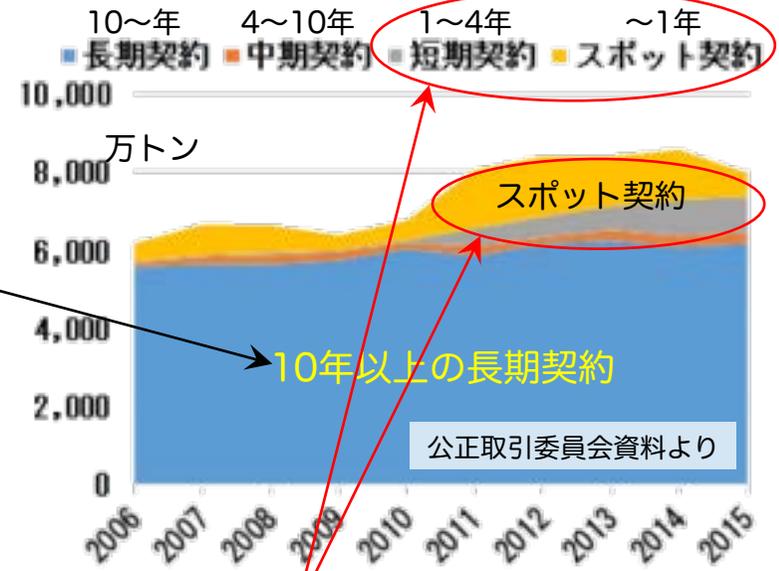
この点もヘリウムと事情が似ている

代替が利かないヘリウムの事情はより深刻

天然ガスでは10年以上の長期契約が主流

→ヘリウムも複数年契約なら安定調達できるはずだが、現状の大学会計ルールはそれを許さない

提案① ヘリウム調達の複数年契約ができるようルール改正が必要



ヘリウムにおける大学の立場はここ

供給が10%減れば真っ先に調達困難に!

日本は戦略的に液体ヘリウムを備蓄すべき

(注) このページは、講演時のものから内容修正しました

提案② 国内総販売量17,000千L/年 (液換算) の3ヶ月分 (4,200千L) を備蓄するための液体ヘリウムコンテナ数を増強すべき

- ・ 40千Lコンテナを5年間で100基増強する (現状は国内200基?)
- ・ 投資額 (容器購入) は、ヘリウム販売価格を10%値上げすれば、5年で回収可能
- ・ 「戦略的備蓄」の実現は民間だけでは難しい。国が容器購入に助成金を交付したり制度作りを主導する必要がある。その場合、販売価格の値上げ幅はもっと縮む



大陽日酸

国産液体ヘリウム用コンテナ (37千L) の例

- ・ 40日間無損失保持 (液体窒素シールド)
- ・ 液ヘリへの熱流入はわずか7.5 W

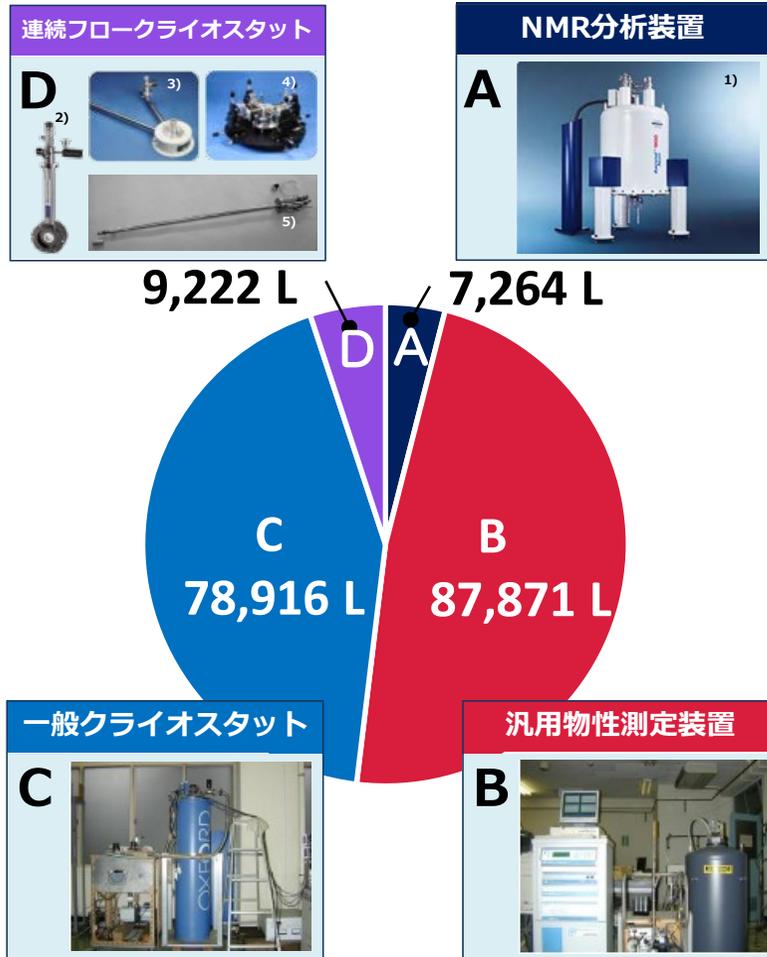
5. ヘリウム・ゼロロスキャンパス・プロジェクト

東大低温センターの取り組み

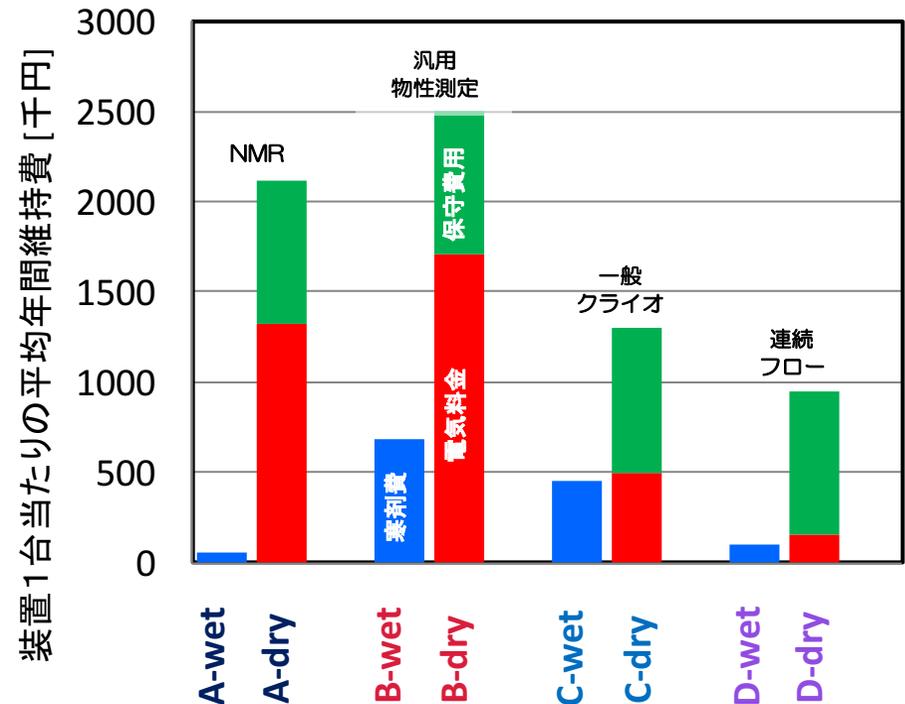
ヘリウム危機が続くと、液化機を保有する大学に非サステナブルな構造変化が起きかねない

寺岡 他「ウェットかドライか？ 低温センターのTSCP活動」低温センター年報2015, p.120

年間液体ヘリウム使用量



浸漬方式と冷凍機方式の年間維持費の比較 (装置1台あたり)



年間2億円の経費節減と800万kWhの節電効果 (圧倒的にウェットが経済的でサステナブル) 東大本郷地区キャンパスでの試算

ヘリウム回収率向上キャンペーン

提案③ ヘリウム損失率がゼロに近づけば、供給不足は深刻な問題ではなくなるので、回収率を上げる地道な努力が必要

ヘリウムガスの回収率を上げよう !!

2019年6月14日 東京大学低温センター
(問い合わせ先:内線22853)

市場価格の高騰のため、
ガスを逃がすと液体ヘリウム使用料金が従来になく高額になります！

携帯型リークディテクター3台を貸出中

2024年までの
目標回収率95%



回収率を上げるため、以下の点を再確認下さい！

容器ブタの閉め忘れや安全弁の故障はないか？



継手・ホースの劣化はないか？



バルブの操作は正確に！



回収メータに漏れはないか？



冷たいガスを流すとゴム膜が破れガスが流出する

トランスファー時の大気放出を最小限にする

トランスファーチューブ予冷時のガスも回収する

圧力が十分下がってからチューブを抜く



新しい貯蔵・運搬技術の開発

ヘリウム・ゼロスキャンパス・プロジェクト (2019~2024)

- △ 高圧圧縮設備
- × 低密度で重量大

高圧ガス
(常温・15MPa)

ガス圧縮より大きな密度比をもち、可搬性にも優れた新しいヘリウム貯蔵技術の開発

- 高密度で軽量
- × 高価な液化設備

液化ヘリウム
(4.2 K・常圧)

<https://cmwelding.com/media-gallery/detail/98/167>

ガスバッグ
(常温・常圧)



(株)ダイソー HPより転載



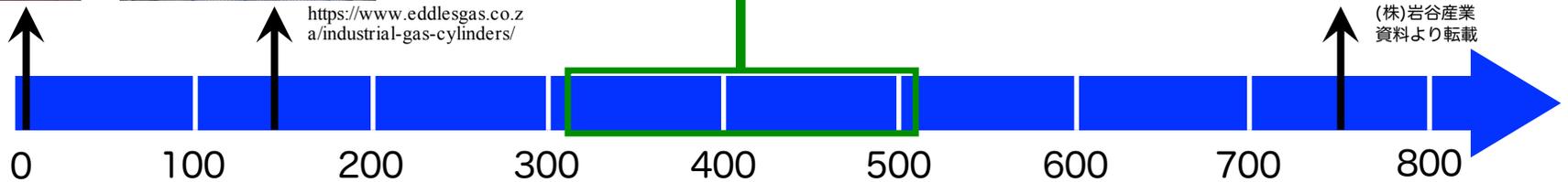
(株)日本ヘリウム HPより転載



<https://www.eddlesgas.co.za/industrial-gas-cylinders/>



(株)岩谷産業 資料より転載



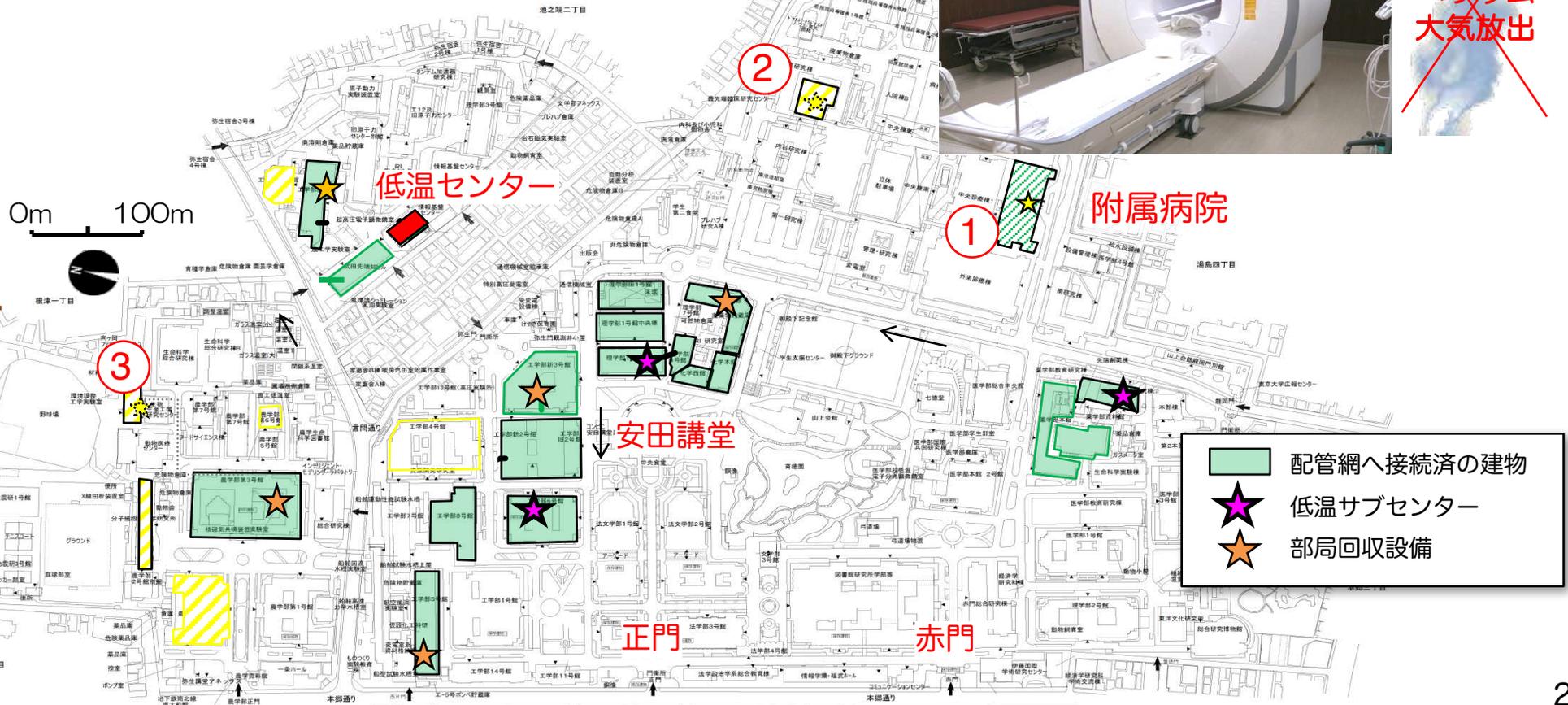
常温常圧ガスとの密度比

東大附属病院におけるMRI機種更新時のヘリウム回収計画

ヘリウム・ゼロロスキャンパス
プロジェクト (2019~2024)

脳磁計(1台)運転時の蒸発ヘリウムガス(年間4千m³)
と、MRI (8台)の機種更新や保守時のヘリウムガス
(年間約15千m³)を配管経由で回収・再液化

貯蔵新技術と組み合わせ、国内7千台のMRI
から大気放出している膨大なヘリウムの再利用
に発展する可能性 (ヘリウム都市鉱山)



まとめ

米国は、世界のヘリウム利用の促進と維持という役割を終えんとしている

提言① 大学における基礎研究や教育を支えるヘリウムを安定調達するには、長期契約ができるよう制度の柔軟化が必要

提言② 日本にはBLMのような地下貯蔵の適地はないので、国として液体ヘリウムコンテナを使った戦略的な備蓄が必要

提言③ ヘリウムは限りある天然資源なので、回収率向上の学内努力や大学間協力に加え、産学連携も必要

参考文献

- [1] National Research Council. “The Impact of Selling the Federal Helium Reserve”, (National Academies Press, 2000)
- [2] National Research Council, “Selling the Nation's Helium Reserve” (National Academies Press, 2010)

謝辞

(株) 岩谷産業 (BLM視察協力)

