

ITER.BA成果報告会 R6.1.15

小川原湖

陸奥湾

六ヶ所研究所
Rokkasho fusion institute



BA活動の進展と原型炉に向けた 核融合技術の社会実装

Progress in BA activities at Rokkasho Fusion Institute and social implementation
of fusion technology toward the DEMO reactor

太平洋

林 巧
HAYASHI Takumi



量子科学技術研究開発機構
量子エネルギー部門 六ヶ所研究所
QST Rokkasho Fusion Institute

試験装置

Test device

科学的実現性

JT-60



超高温プラズマ
の実現

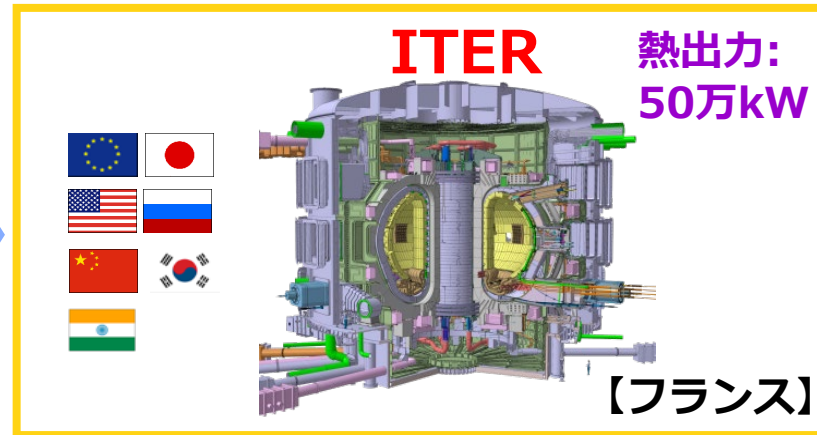
世界最高イオン温度
5.2億度を達成

現在

実験炉

Experimental reactor

核融合燃焼の実証



今世紀
中葉

原型炉

DEMO reactor

発電実証

電気出力: 数十万kW



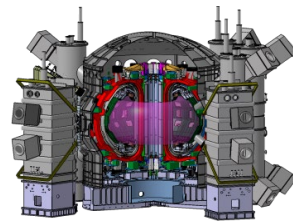
ITERを支援する

ITERでできないことを補う



幅広いアプローチ活動 Broader Approach (BA) activities

【茨城 那珂研】

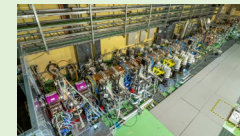


サテライト・トカマク計画事業
(JT-60SA)

【青森 六ヶ所研】



IFERC事業
原型炉設計R&D
スーパーコンピュータ
ITER遠隔実験



IFMIF/EVEDA事業
材料照射施設のため
の世界最大電流の加
速器開発

IFERC:

国際核融合エネルギー研究センター

IFMIF/EVEDA:

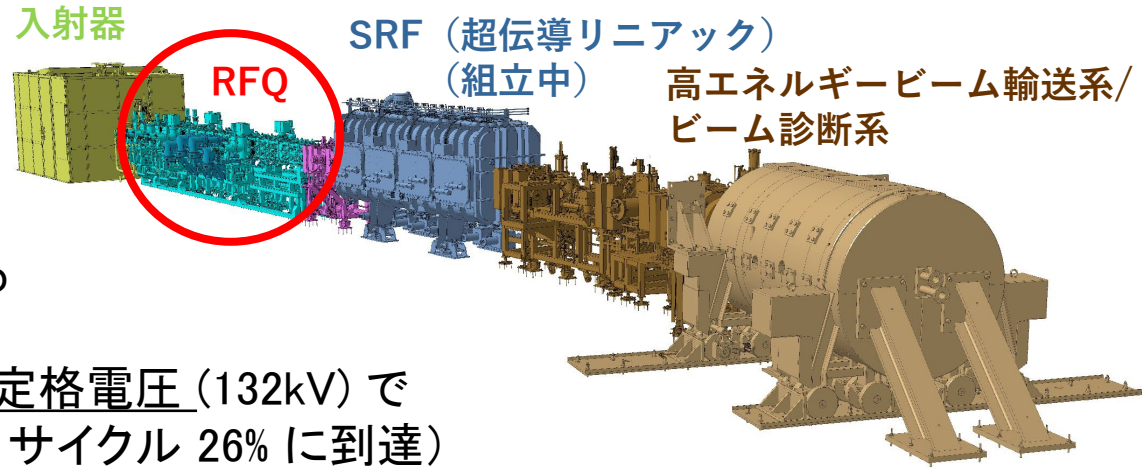
国際核融合材料照射施設/工学実
証・工学設計活動

IFMIF/EVEDA事業：材料照射施設のための世界最大電流の加速器開発

原型加速器のビーム試験が進行中

高周波四重極加速器(RFQ)の開発：
連続運転に向けた信頼性と性能を向上

- 冷却能力が向上した RF カプラーによる
高い安定性でのビーム伝送成功
- RFQ の高出力高周波入力テストでは、定格電圧 (132kV) で
連続運転に向けた調整進展 (デューティ サイクル 26% に到達)

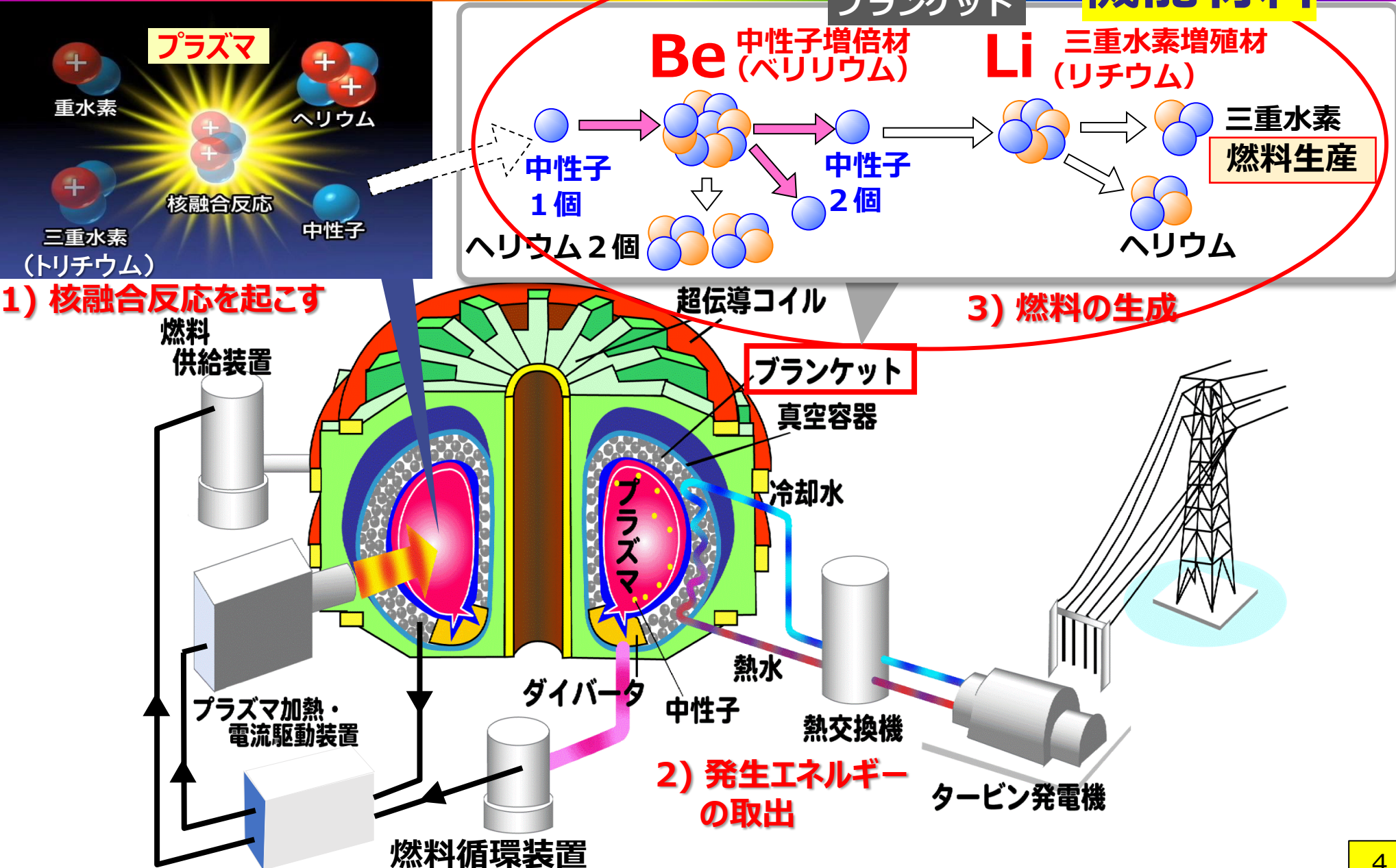


IFERC事業：原型炉設計.R&D、計算機シミュレーション、ITER遠隔実験

ITER機構との協力・連携が進展

- ITER機構との計算機シミュレーション研究が進行中。
- ITER機構と連携し、ITER機構が採用した
アプリケーションシステムを用いたITERのプラントデータの
ライブモニタリング試験に成功
- 原型炉設計.R&Dでは、国内計画を含めて
ブランケット研究開発が進展





ブランケット機能材料

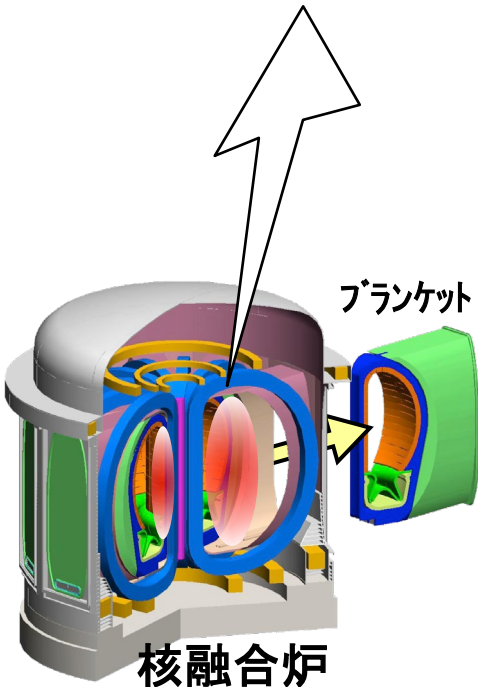
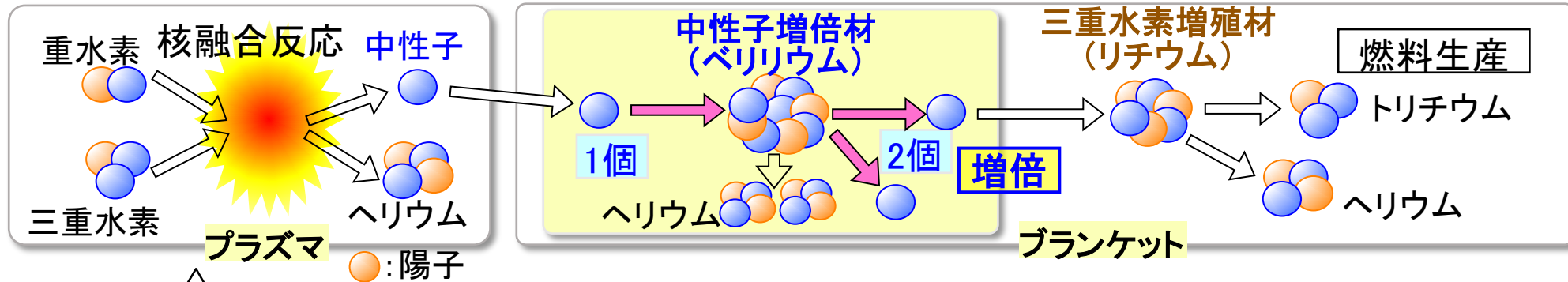
Blanket functional material

中性子増倍材

Neutron multiplier material

Be：ベリリウムの資源確保

Be: Securing beryllium resources

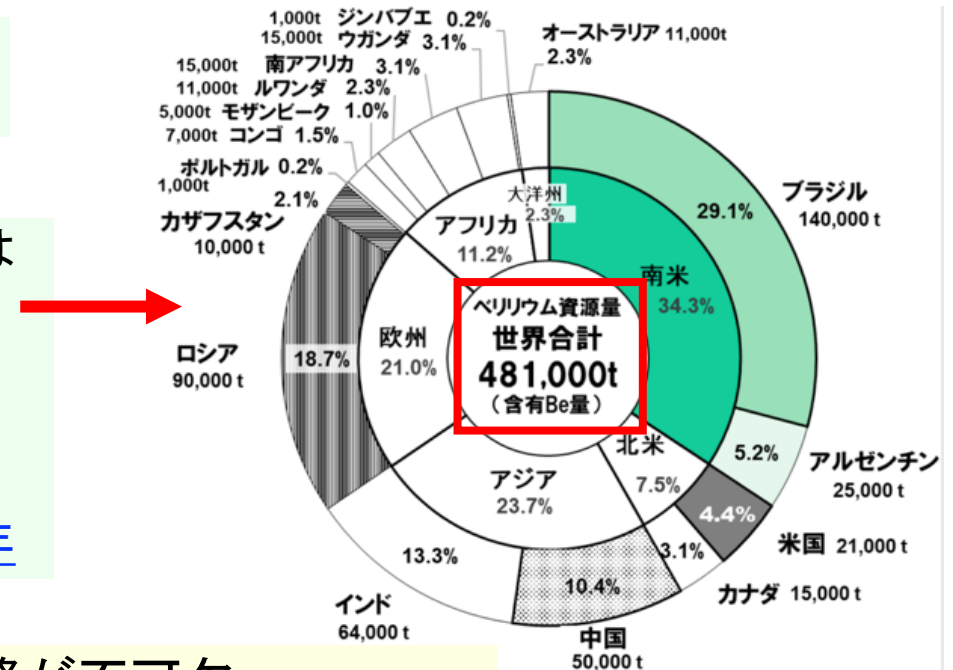


ベリリウム金属(Be)及びその合金 (資源は全て輸入)

- ・原型炉: 400トン/基必要
- ・ブランケットは4年毎交換

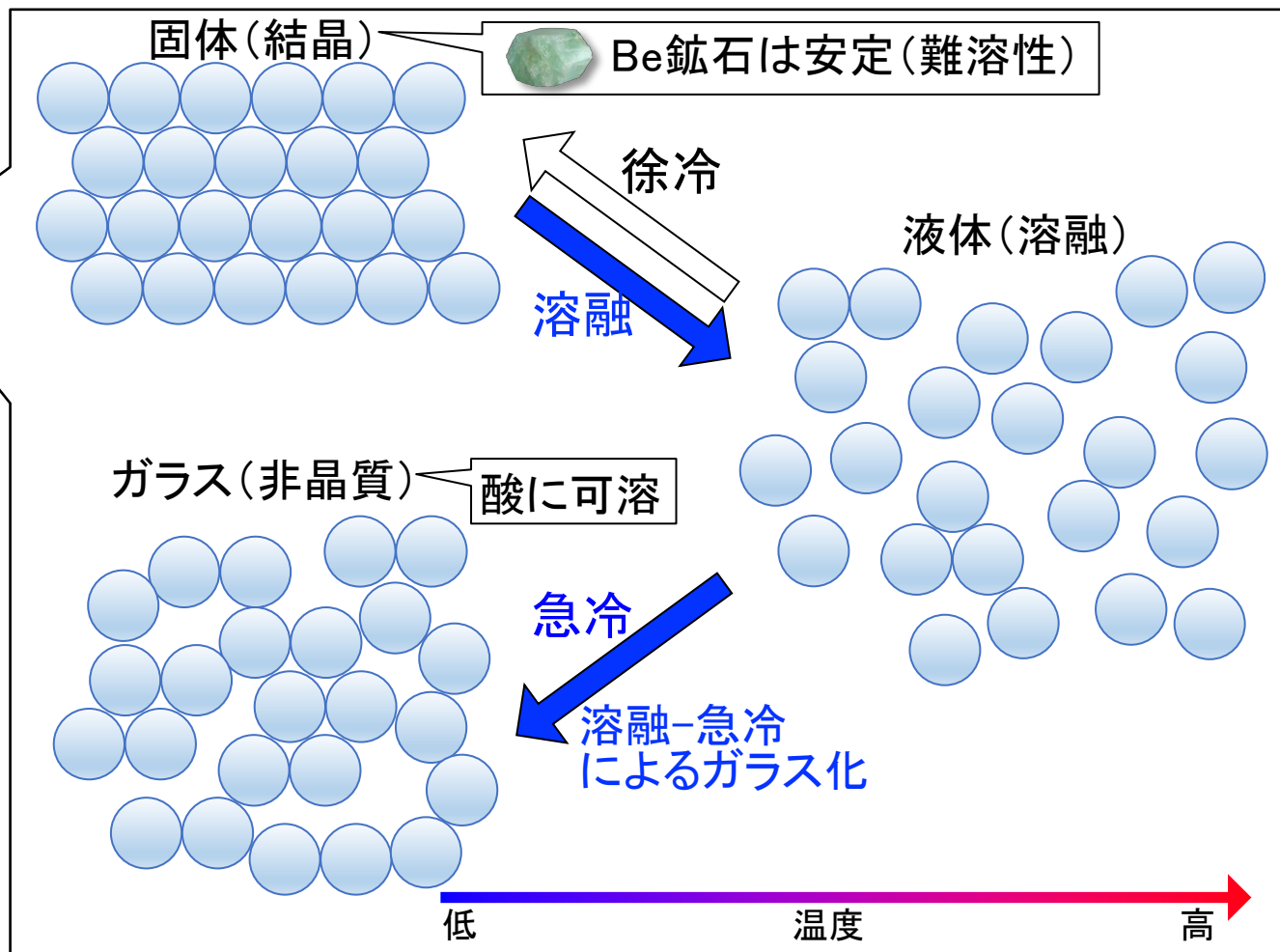
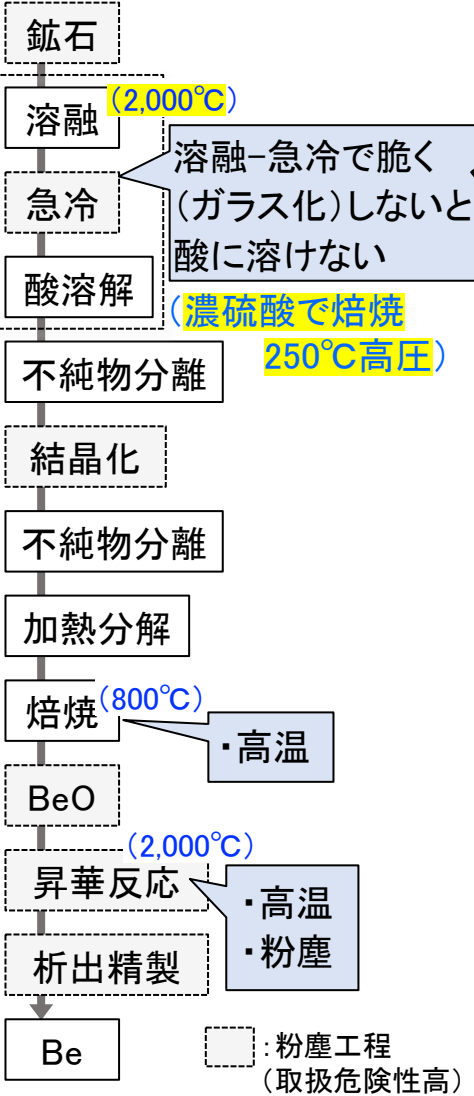
- ・海外Be資源 **48万トン** はあるが・**特定化学物質**
- ・**非経済的なBe精製技術**
- ・米国一企業が独占販売
- ・Be生産総量は300トン/年

Be資源の安定確保戦略が不可欠
経済性安全性に優れた精製技術開発が重要



従来技術(外部加熱によるエネルギー多消費型プロセス)

【従来技術】



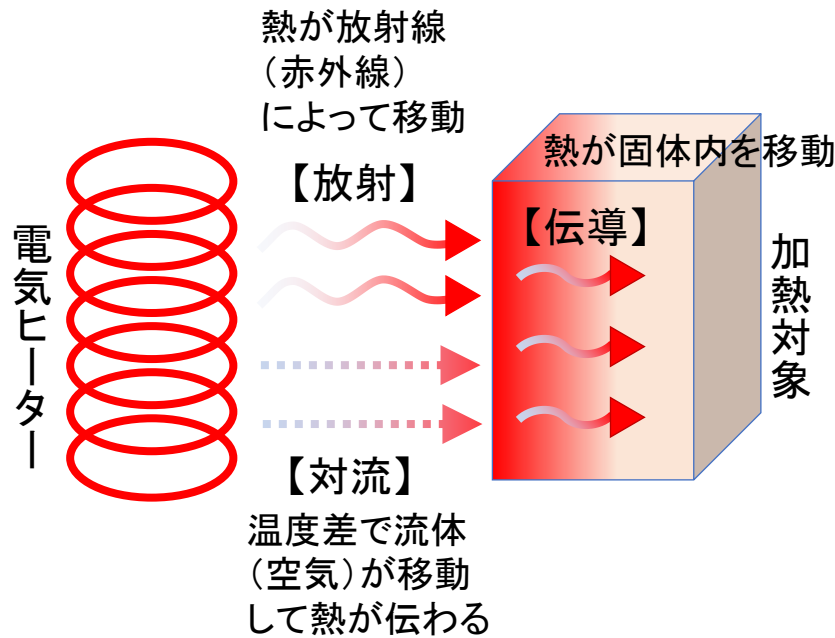
- 課題**
- ・高温処理を含み、経済性に問題がある
 - ・健康障害リスクのある粉塵工程が多く、安全対策が必要

着想

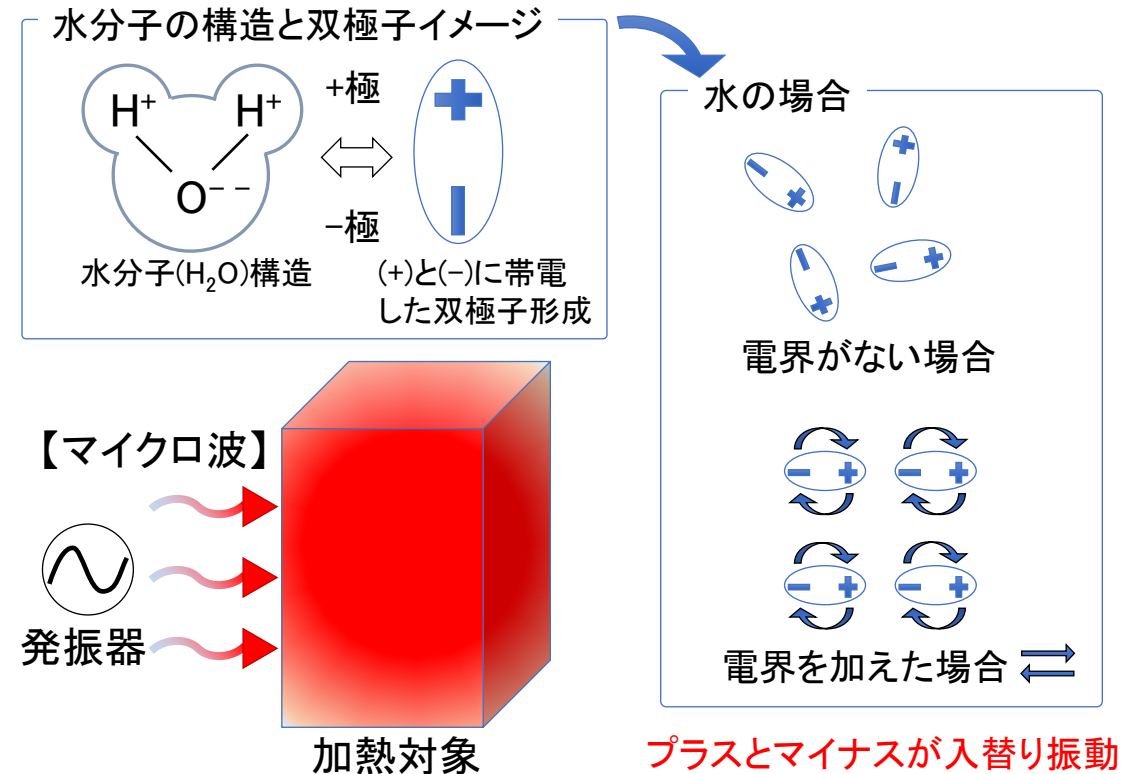
外部加熱から、マイクロ波による内部加熱で加熱を効率化

外部加熱とマイクロ波による内部加熱の違い

Difference between external heating & internal heating using microwaves



外部加熱：
ヒーターなどの外部熱源から放射された熱が、「放射、対流、伝導」によって、加熱対象の外表面から加熱



マイクロ波による内部加熱：
マイクロ波の電界中で、加熱対象の分子が電界の力を受け、マイクロ波の周波数に応じて激しく振動することにより、加熱対象自体が発熱体となって加熱
【利点：急速かつ均一な加熱、エネルギー効率が良い】

鉄やマグネシウム精製の還元工程で、マイクロ波加熱利用例があるが1,000°C以上と高温

→ 高温溶融処理ではなく、化学的な溶解処理による精製、その熱源にマイクロ波加熱利用を発案

アルカリ・マイクロ波溶融実験はどのように
行われているか

How are alkaline microwave melting experiments conducted?



新低温金属精製技術

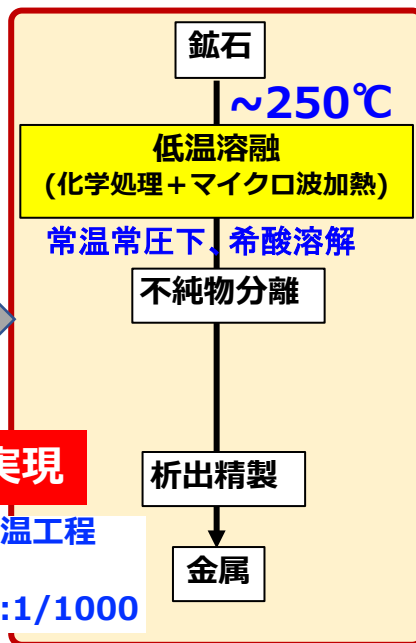
ベリリウム鉱石が全溶解

マイクロ波加熱を用いる省エネ・CO₂削減精製技術で**リチウム実鉱石**（マイクロ波化学(株)の共同プレス：R4.7.13）及び**ベリリウム実鉱石**（同・共同プレス：R5.3.30）の溶解に成功

従来技術



新ベリリウム精製技術

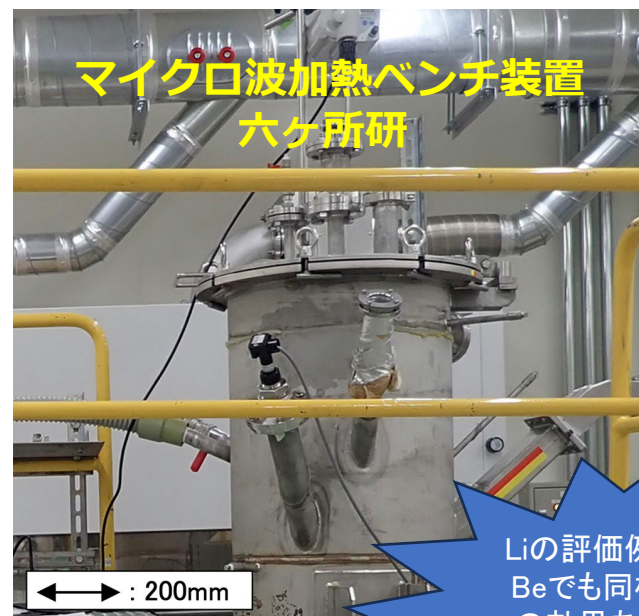


低温精錬の実現

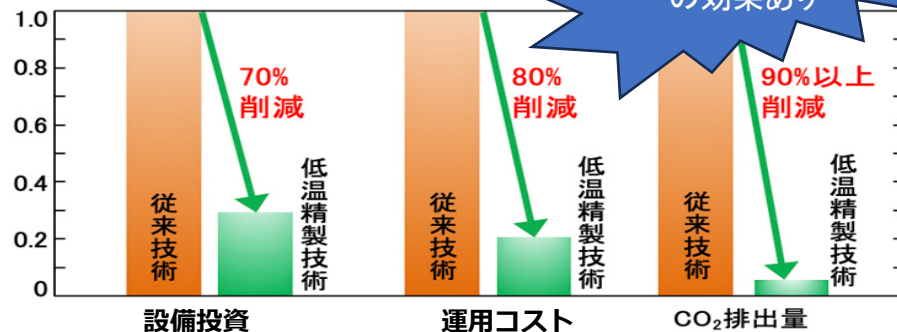
- 250℃以下の低温工程
- 工程の簡素化
- 消費エネルギー:1/1000

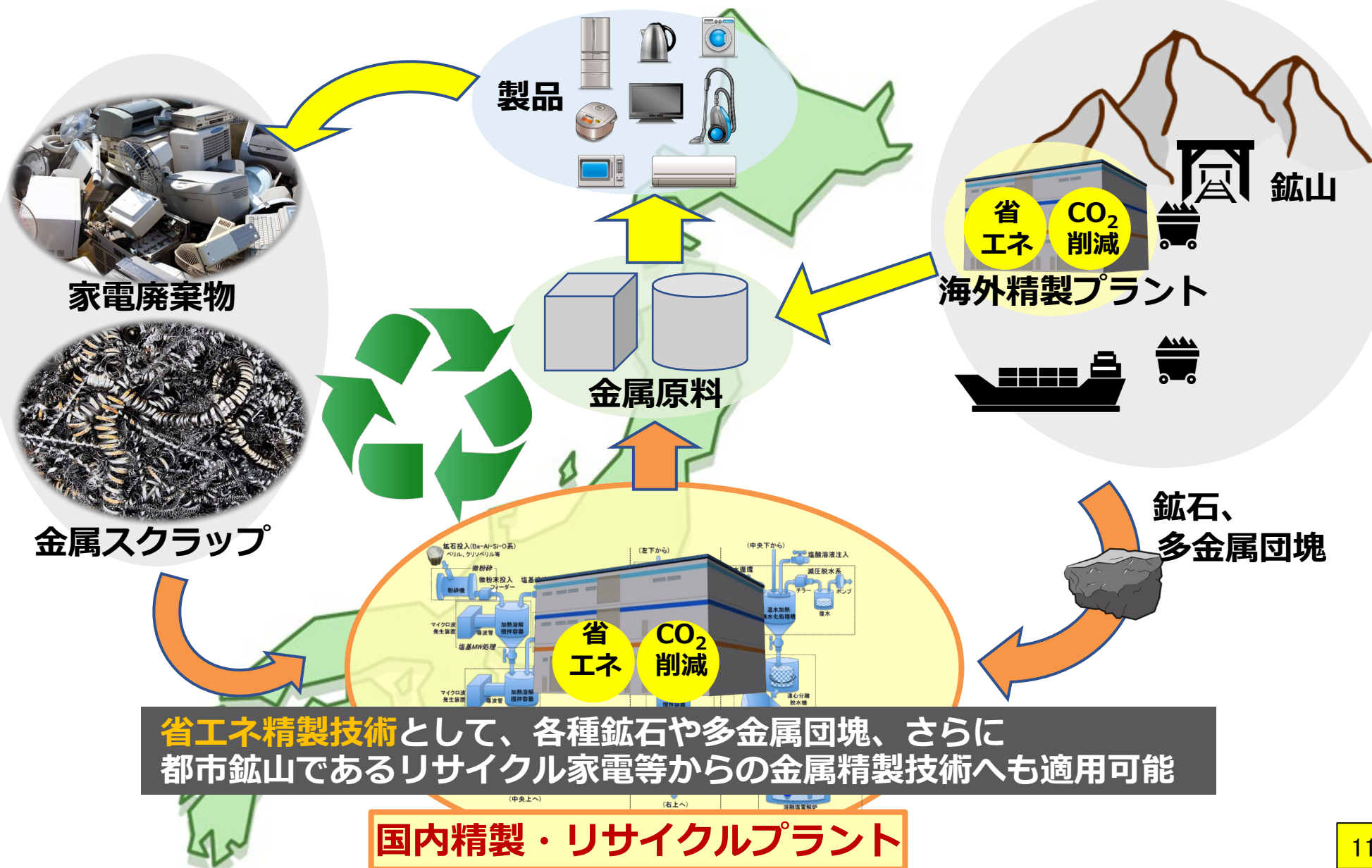
ベリリウム鉱石はもちろん、リチウム鉱石等の**レアメタル鉱石**や金属団塊、セラミック処理など、高温処理を要する精錬に**同じ条件で適用可能**

- 鉱山で実際に採鉱された約100gの **Be、Li 実鉱石**を低温溶解させることに成功



Liの評価例：
Beでも同様の効果あり





QST ベリリウム資源確保のためのスタートアップ企業を設立

Establishment of startup company to secure beryllium resources



MiRESSO

株式会社MiRESSO

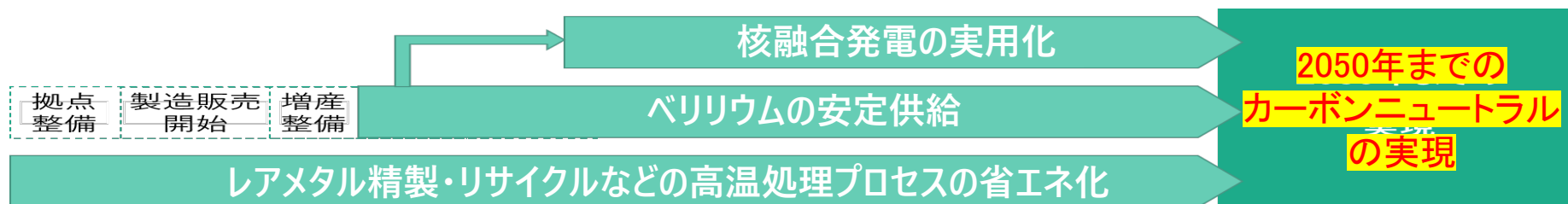
QST認定ベンチャー



- | | |
|------|---|
| 社名 | ■ 株式会社MiRESSO
Mineral Refining and Recycling System Society 鉍物の精製およびリサイクルのシステム拠点 |
| 設立 | ■ 2023年5月16日 |
| 事業概要 | ■ Be及びその化合物の製造、販売
■ 高温の熱利用製造プロセスの低温化に係るライセンス & コンサルテーション |

ミッション

**ベリリウムの安定供給による核融合発電の実用化・
高温処理プロセスの省エネ化を通じた、カーボンニュートラルの実現**



「中小企業イノベーション創出推進事業【SBIR】（文部科学省分）」の核融合分野「核融合原型炉等に向けた核融合技術群の実証」にMiRESSOの「核融合炉用ベリリウム資源安定確保に係る低温精製技術実証」が採択。

ブランケット機能材料

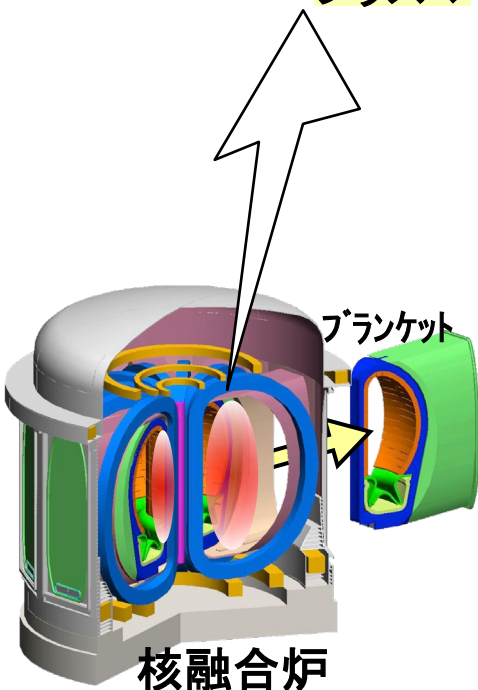
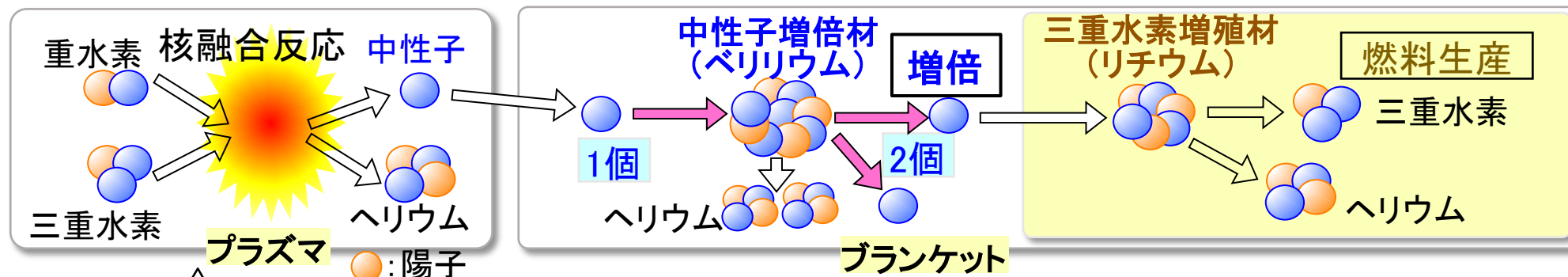
Blanket functional material

三重水素増殖材

Tritium breeder material

Li：リチウムの資源確保

Li：Securing lithium resources

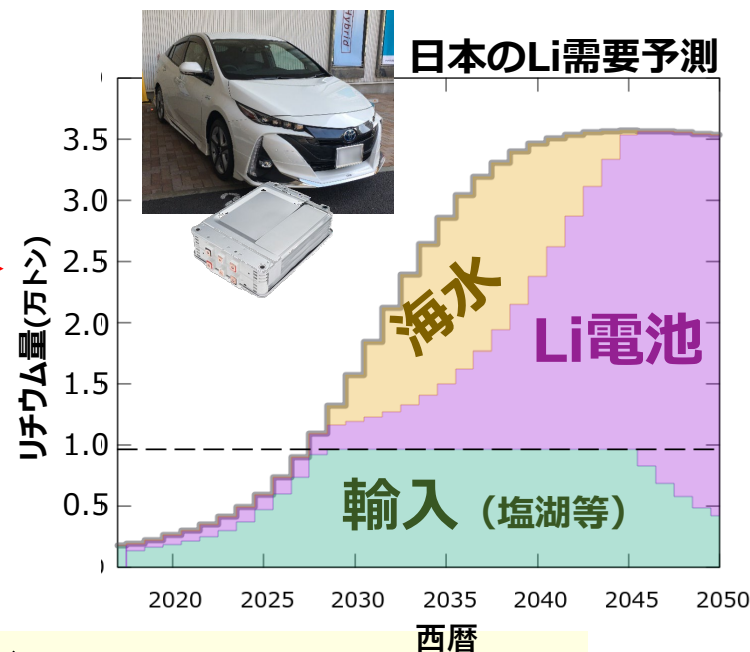


リチウム (Li) セラミクス (資源は全て輸入)

- ・原型炉: 100トン/基必要
- ・ブランケットは4年毎交換

- ・EV 市場の拡大での
日本のLi 需要予測 (急増予測) →
- ・塩湖かん水 → 1年天日干し
- ・鉱石 → 高温: か焼焙焼処理
(中国が独占)
- ・ ^6Li (天然比7.6%) が必要 (90%濃縮)

^6Li 資源の安定確保戦略が不可欠
Li 急速需要拡大に対応する海水などからのLi回収が重要

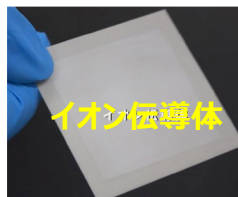
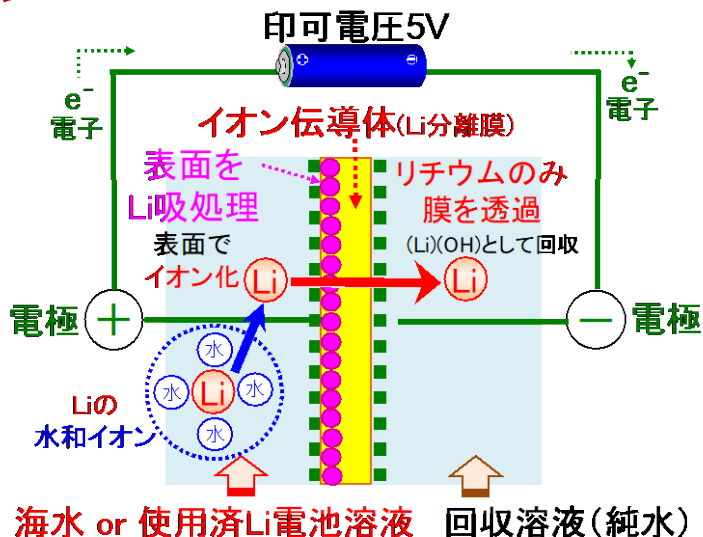


海水からリチウムを回収する新技術を創出

Creating new technology to recover lithium from seawater

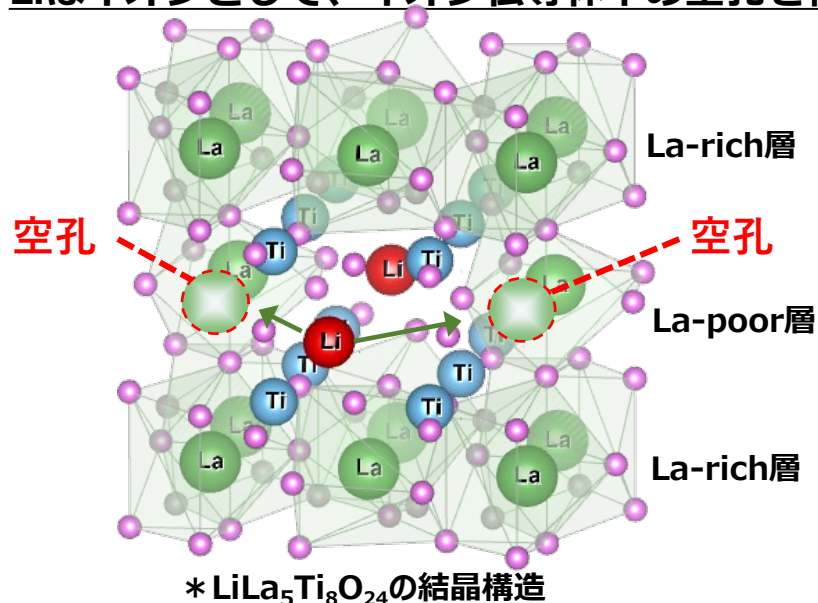
イオン伝導体リチウム分離法*の発案

*LiSMIC (Li Separation Method by Ionic Conductor) :
イオン伝導体を分離膜として使い、超高純度(99.99%)
Liのみを回収する技術

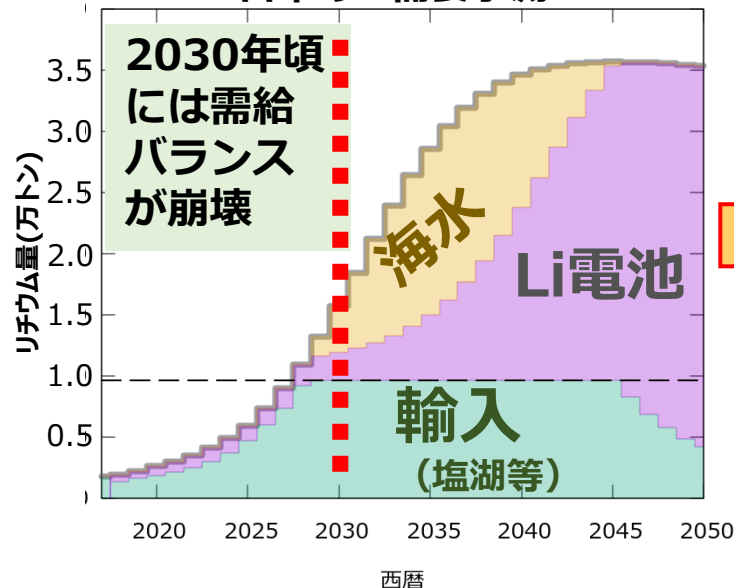


海水からリチウムのみを回収
する新技術の開発に成功

Liはイオンとして、イオン伝導体中の空孔を移動



日本のLi需要予測



海水・
Li電池・
塩湖かん水
からのLi回収

↓

脱炭素社会
実現へ貢献

リチウム回収実験はどのように行われているか

How are lithium recovery experiments conducted?



●使用済み電池への応用：

使用済み電池から、**超高純度(99.99%)リチウム**を、**輸入価格の半分以下で回収**。



使用済み電池



Li回収を低コストで実証



炭酸リチウム
(リチウム電池の原料)

*プレスR3.12.7 使用済電池から低コストで超高純度リチウム回収 -レアメタル資源循環を拓く- (掲載紙：日刊工業新聞等)

●塩湖かん水への応用：

・ **輸入価格の約1/3のLi回収コスト**を達成。



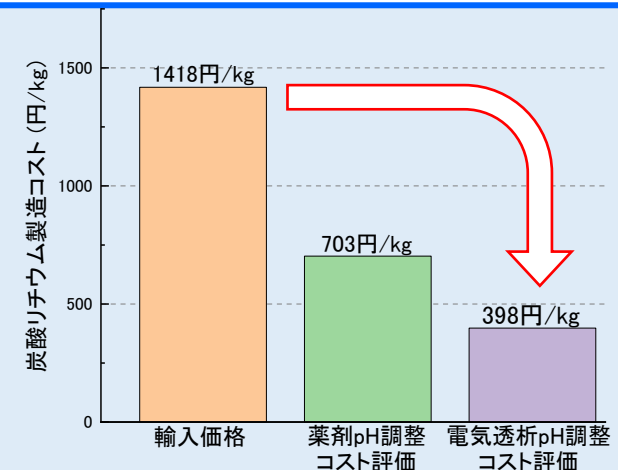
・ 塩湖かん水からのリチウム回収技術で、**ベンチャーを2023年7月に起業**。



かん水蒸発中



塩湖 食塩層の下にかん水が存在



自然界に僅かしかない三重水素の製造には、⁶Liは不可欠

現状 1

- 1) 天然Li中に⁶Liは約7.6%
三重水素製造には
90%濃縮⁶Liが必要
- 2) ⁶Liは輸入困難（戦略物質）

現状 2

海外での既存技術：水銀法

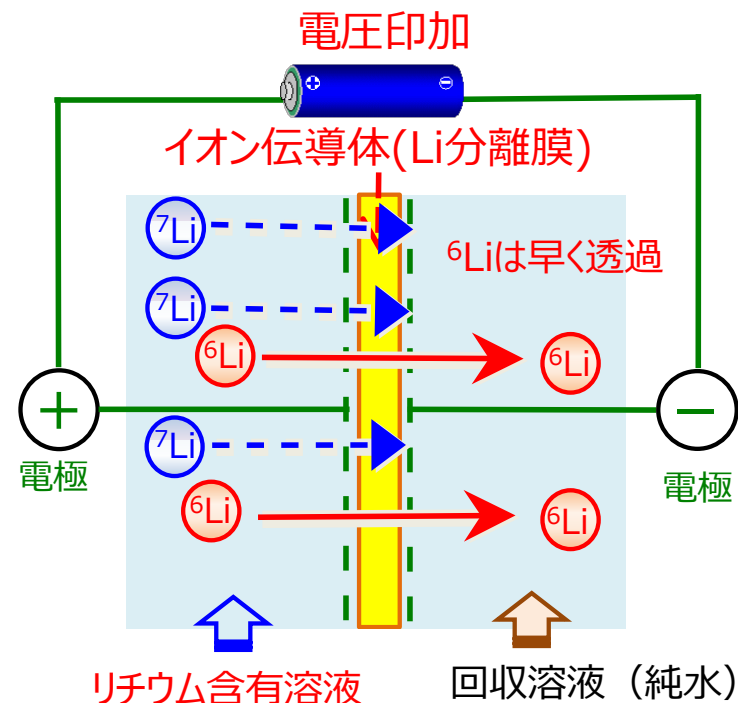
日本は、世界に類を見ない
「脱水銀国」=> **実用化不可能**

日本独自の新同位体分離法が必要

着眼点

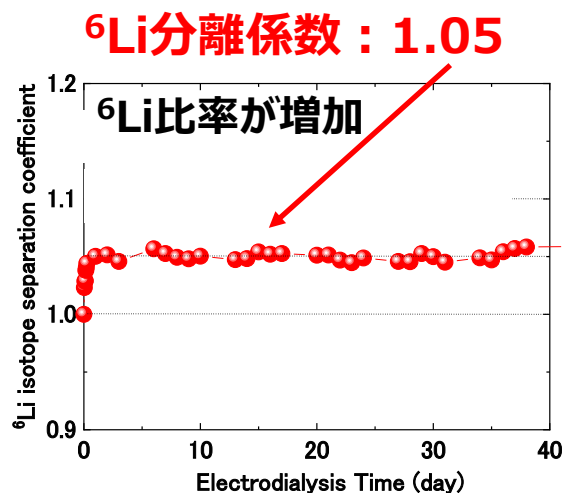
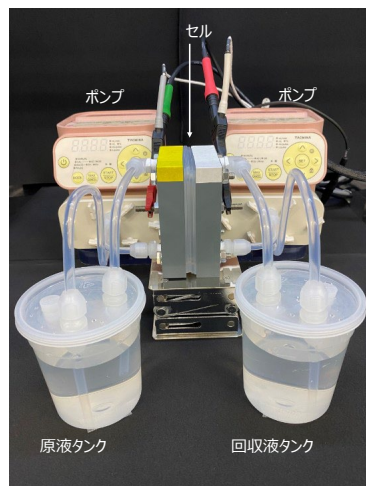
⁶Liと⁷Liイオンの**イオン伝導体膜中の移動度の違い**を同位体分離に利用

【LiSMICによる⁶Li同位体分離】



質量比6:7 で ⁶Liが軽い
→ **早く動ける**

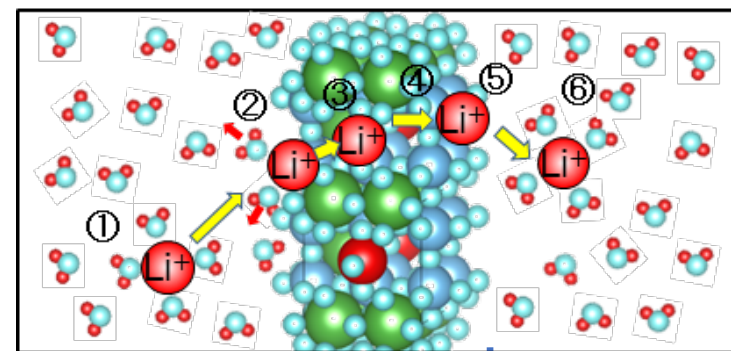
単膜式装置での実験



高い同位体分離係数を達成

計算シミュレーション

①水和イオン → ②脱水和・吸着 → ③伝導体に侵入
→ ④拡散 → ⑤脱離 → 再水和



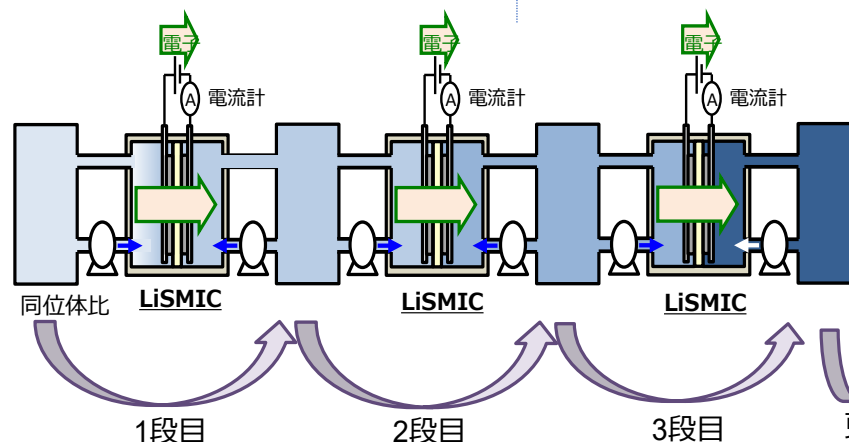
原液 イオン伝導体 回収液

^6Li 分離メカニズム解明

【ゴール】

更に高い同位体分離係数を得るため、

・実験研究
・計算シミュレーション
の融合



7.6% → 8.2% → 8.8% → 9.4% → →

**目標
90%**

**最適な
カスケードモデル
の構築へ**



LiSTie 株式会社
QST認定ベンチャー

Li = リチウム (Lithium)
S = サステナブル (Sustainable)
Tie = 繋ぐ

社名 ■ LiSTie 株式会社

設立 ■ 2023年 7 月6日

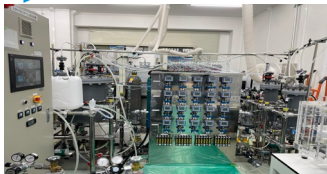
- 事業概要
- LiSMICユニット初号機は、工業排水をターゲットに開発。
 - 中期的には、LIBリサイクル、塩湖かん水からの回収がターゲット。
 - 将来的には、核融合炉向けに海水からの回収を目指す。

ミッション

**LiSMICを社会実装し、EVや核融合炉の普及促進に貢献し、
脱炭素社会を次の世代に「繋ぐ」架け橋となる企業を目指す。**

2023年

新社設立



✖ 50倍規模の
LiSMICユニット

2027年

工業排水
(国内)



2028年～

LIBリサイクル
(国内)

使用済LIB



塩湖
(海外)

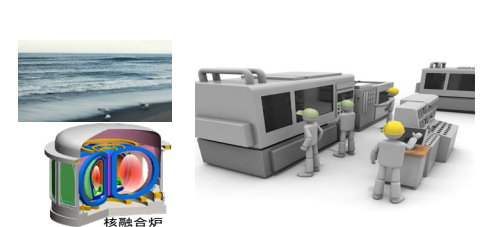


鉱石
(海外)



2040年以降

海水
(海外でのリチウム製造)



「中小企業イノベーション創出推進事業【SBIR】(文部科学省分)」の核融合分野「核融合原型炉等に向けた核融合技術群の実証」にLiSTieの「リチウムの国内安定調達を可能とする革新的LiSMICの開発」が採択。

2社のSUに貸与いただいた六ヶ所村サテライトオフィス Rokkasho village satellite office lent to two SU companies

六ヶ所村役場の皆様との 六ヶ所村サテライトオフィス開所式

 LiSTie (株)
CEO 星野

 (株)MiRESSO
CTO 中野



サテライトオフィス
の建物外観

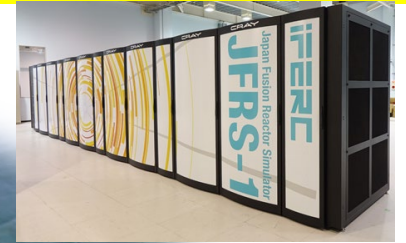
ニュートロンフォレスト (中性子産業)



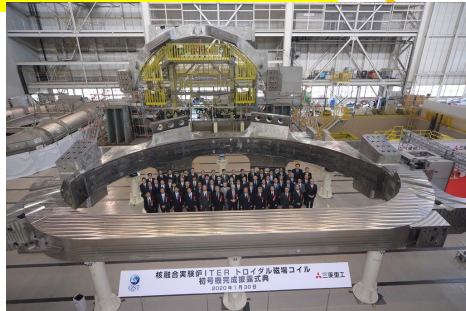
ITER遠隔実験センター



核融合情報科学センター



核融合機器工場



リチウム回収・ 電池リサイクル工場

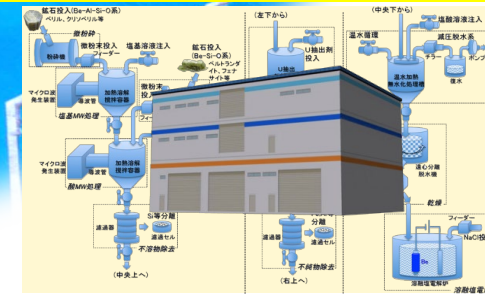
使用済みリチウム電池収集ステーション
副産物水素エネルギー発電所
次世代リチウム電池ファクトリー



核融合原型炉



ベリリウム&レアメタル 精製・リサイクルプラント



A detailed 3D architectural rendering of the JA DEMO fusion reactor facility. The central building has a large blue roof and a circular opening where a glowing blue plasma is visible. To the right are several large cylindrical storage tanks. The facility is surrounded by greenery, parking lots, and a body of water in the foreground. The background shows a forested landscape under a bright sun.

• ご清聴ありがとうございました。

• Thank you for your attention.

JA DEMO 概念図