

カーボンニュートラル・省エネ を実現する金属精製技術

量子科学技術研究開発機構

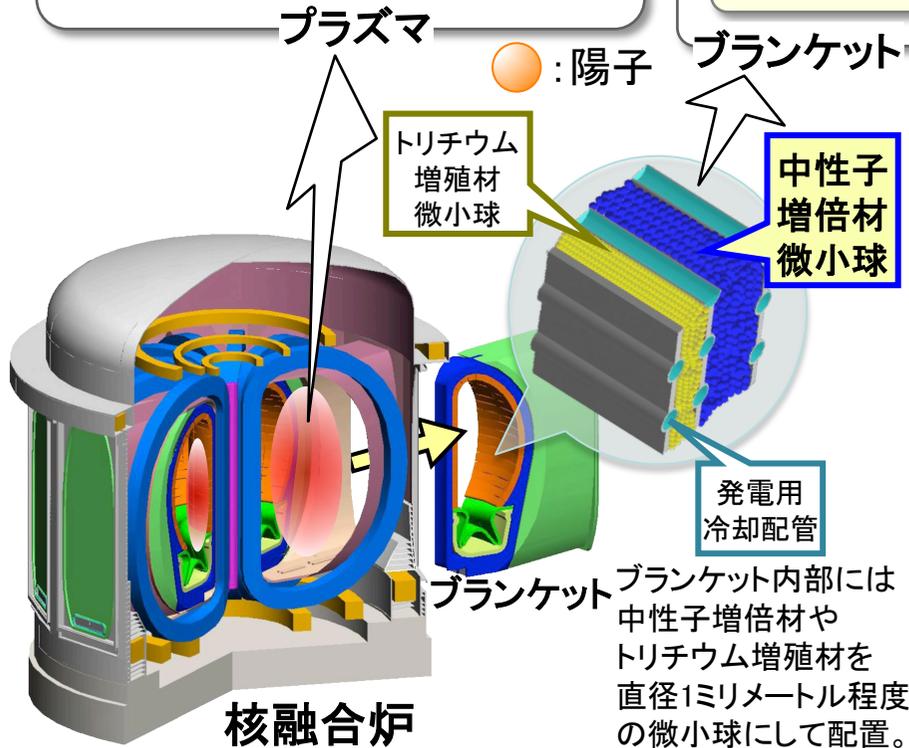
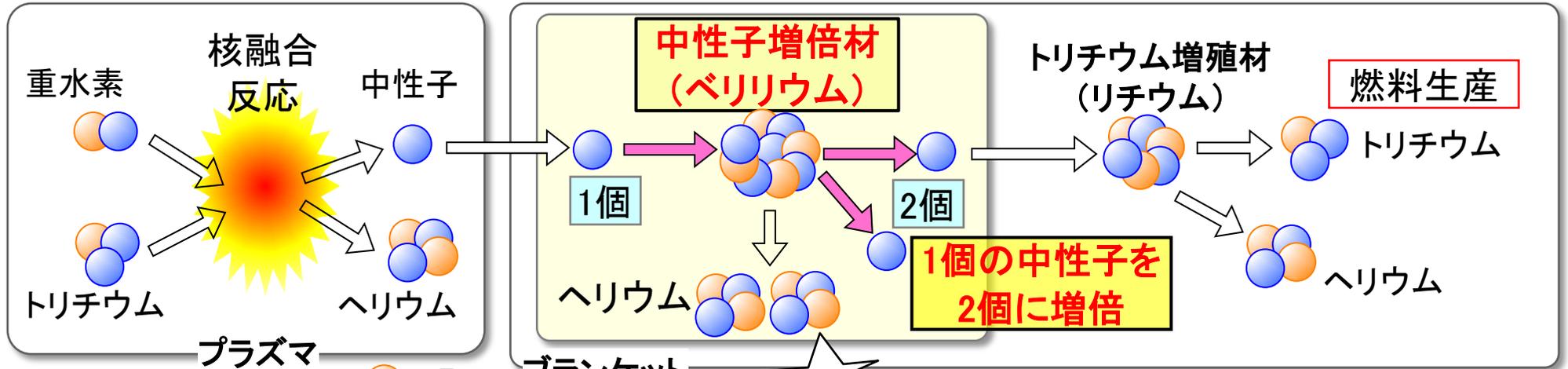
核融合エネルギー部門

六ヶ所核融合研究所ブランケット研究開発部

グループリーダー 中道 勝

2021年7月13日

技術開発の背景(レアメタルBe確保)



ベリリウム金属(Be)及びその合金が候補材
↳ レアメタルの一つでもある(リサイクルも重要)

元素	Li	Be	Ti	In	Nd	Sm	W	Pt
存在度 (ppm)	13	1.5	5400	0.05	16	3.5	1.0	0.001

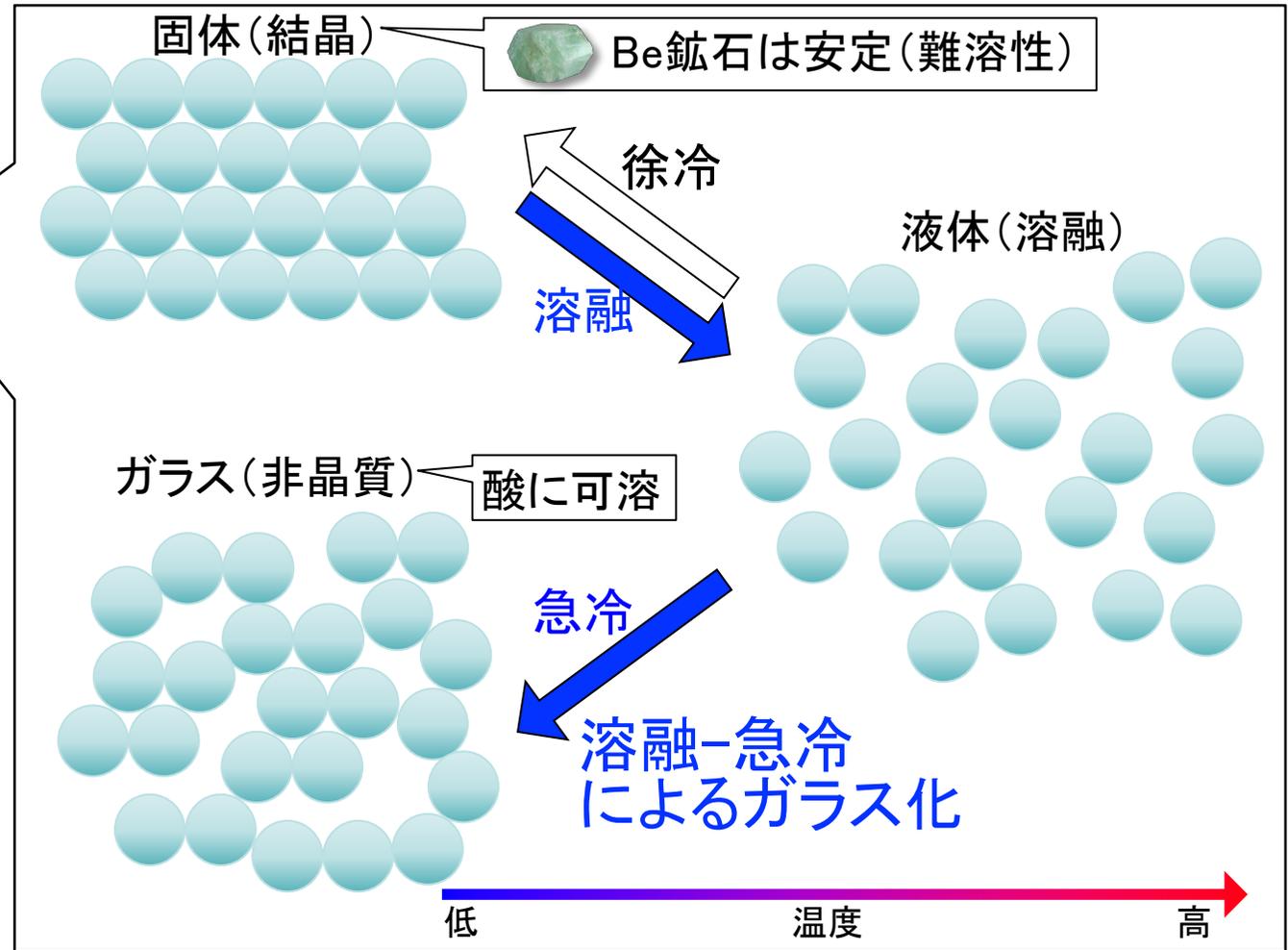
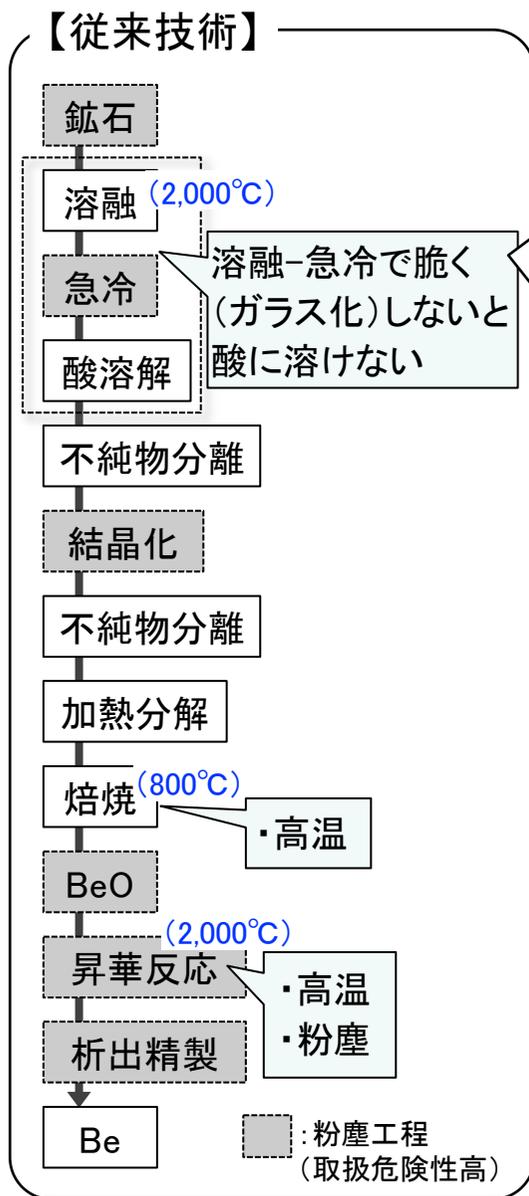
引用: Newton別冊完全図解周期表第2版(2010)

- ・原型炉 : 500トン/基必要(4年毎交換)
- ・Be生産量: 300トン/年(米国の一企業による寡占状態)
- ・精製技術: 複雑、エネルギー多消費型プロセス

ベリリウム資源安定確保に向けた戦略的活動が必要

経済性に優れた新たな精製技術開発を実施

従来のBe精製(エネルギー多消費型)

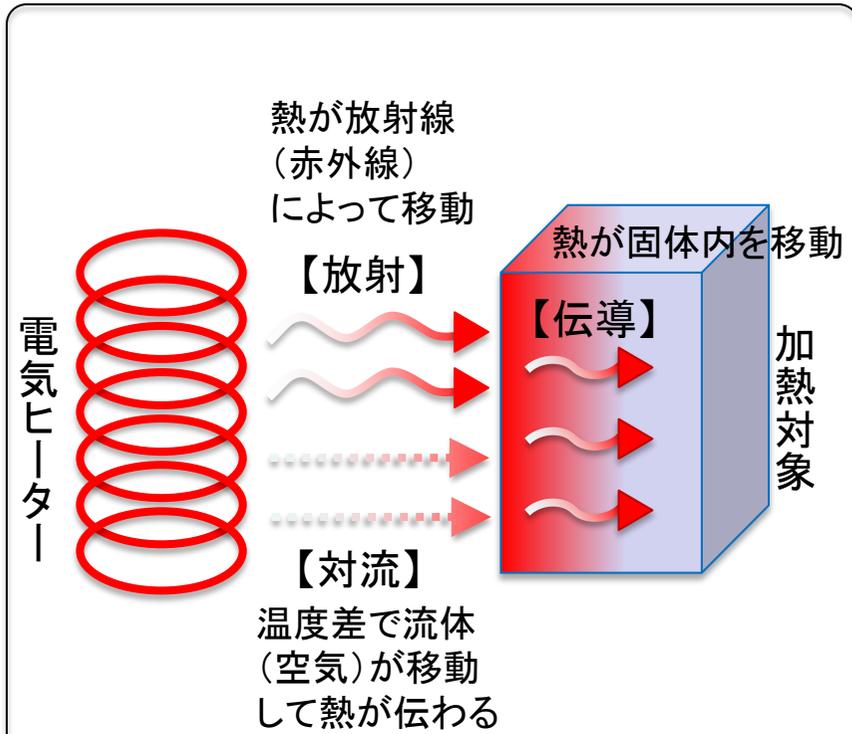


課題

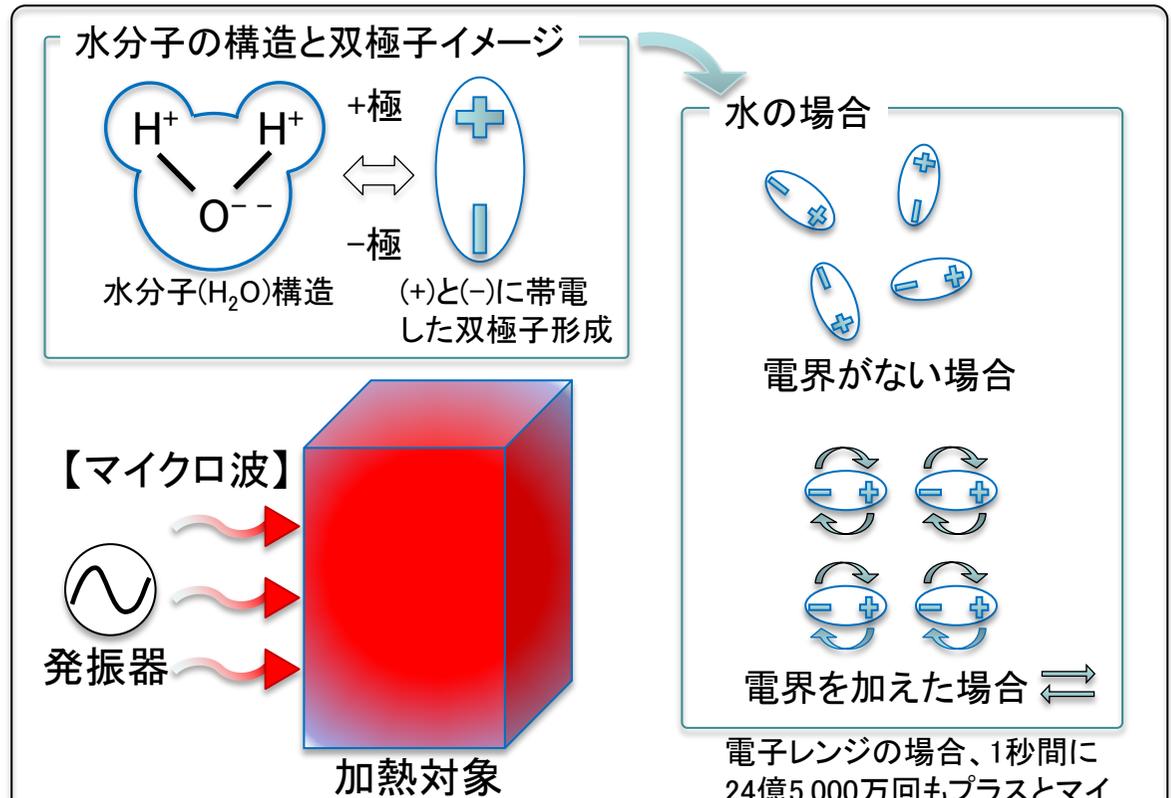
- ・高温処理を含み、経済性に問題がある
- ・健康障害リスクのある粉塵工程が多く、対策設備整備が必要

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



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



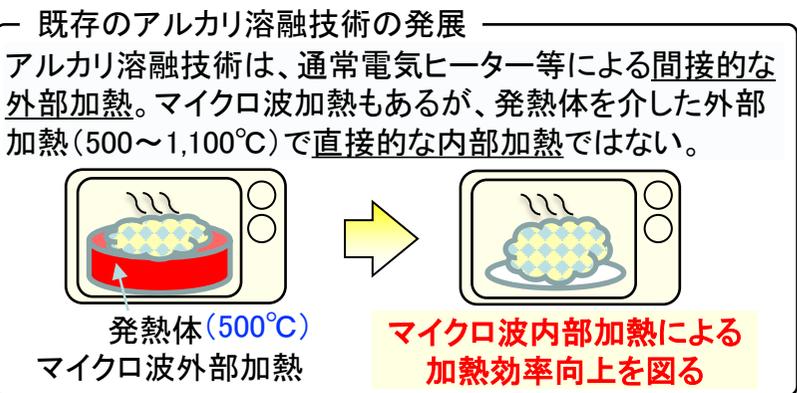
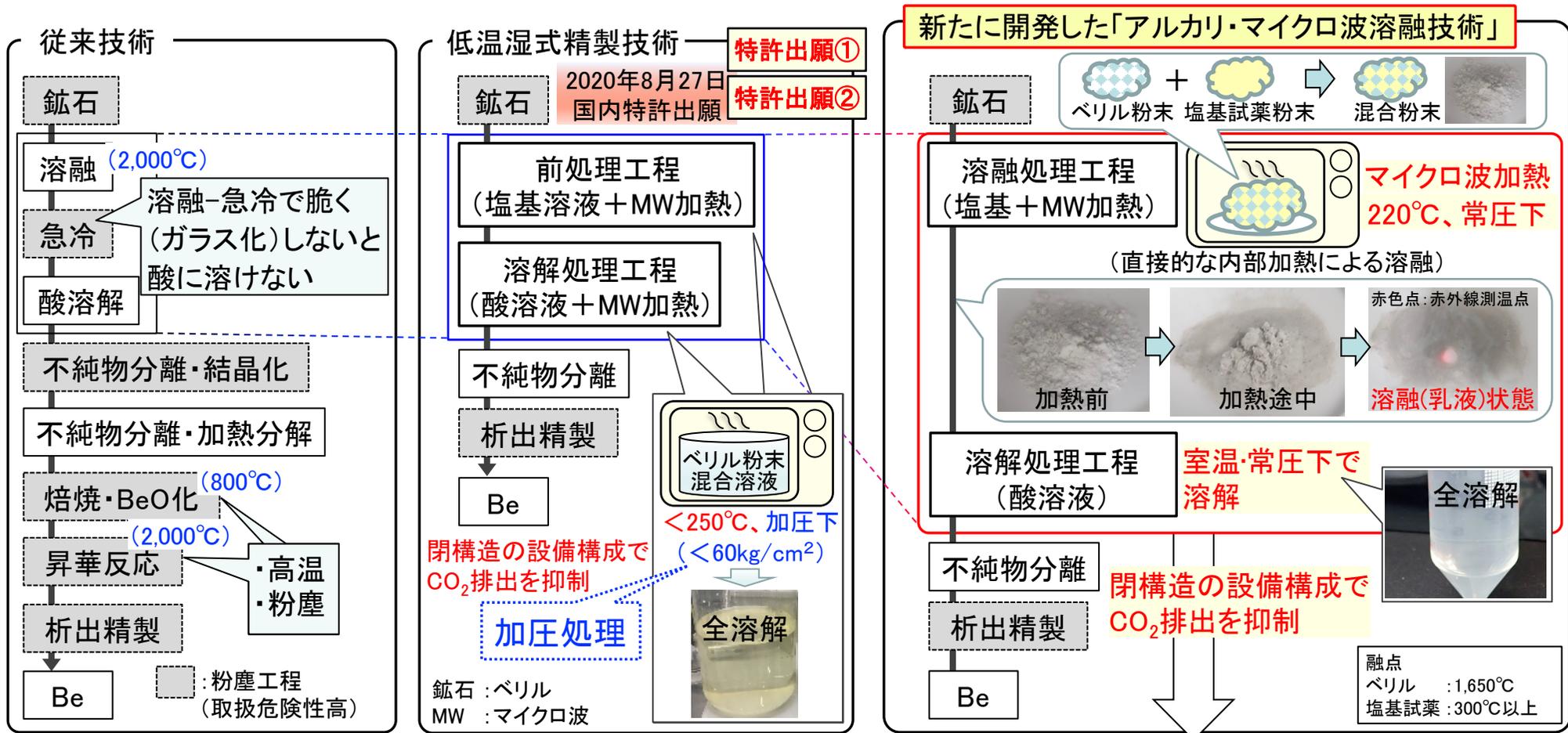
マイクロ波による内部加熱:
マイクロ波の電界中で、加熱対象の分子が電界の力を受け、マイクロ波の周波数に応じて激しく振動することにより、加熱対象自体が発熱体となって加熱

【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

→ 高温の溶融処理ではなく、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提案

化学処理とマイクロ波による新精製技術



実験装置規模での溶解プロセス消費電力比較

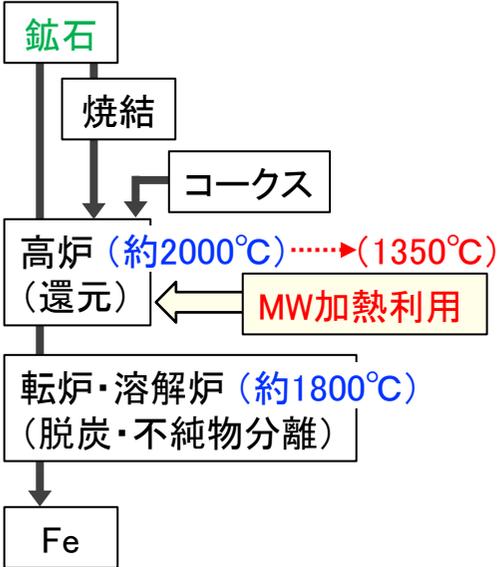
- 従来技術の2,000°C溶融に対し、1/1,000のエネルギーで溶融。
- 500°Cの外部加熱に対し、220°Cと反応促進効果が認められ、30パーセントのエネルギーで溶融が可能。
- 低温湿式精製技術に対して、常圧下処理により設備整備を低減。
- 閉構造の設備構成でCO₂排出を抑制し、安全取扱が可能。

2021年3月10日国内特許出願 特許出願③

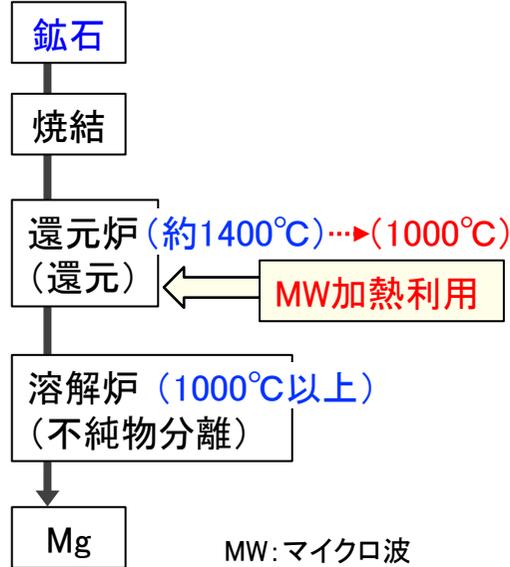
新精製技術の適用範囲の拡大可能性(1)

マイクロ波加熱利用による省エネ化の例

[製鉄プロセス]



[Mg精製プロセス]

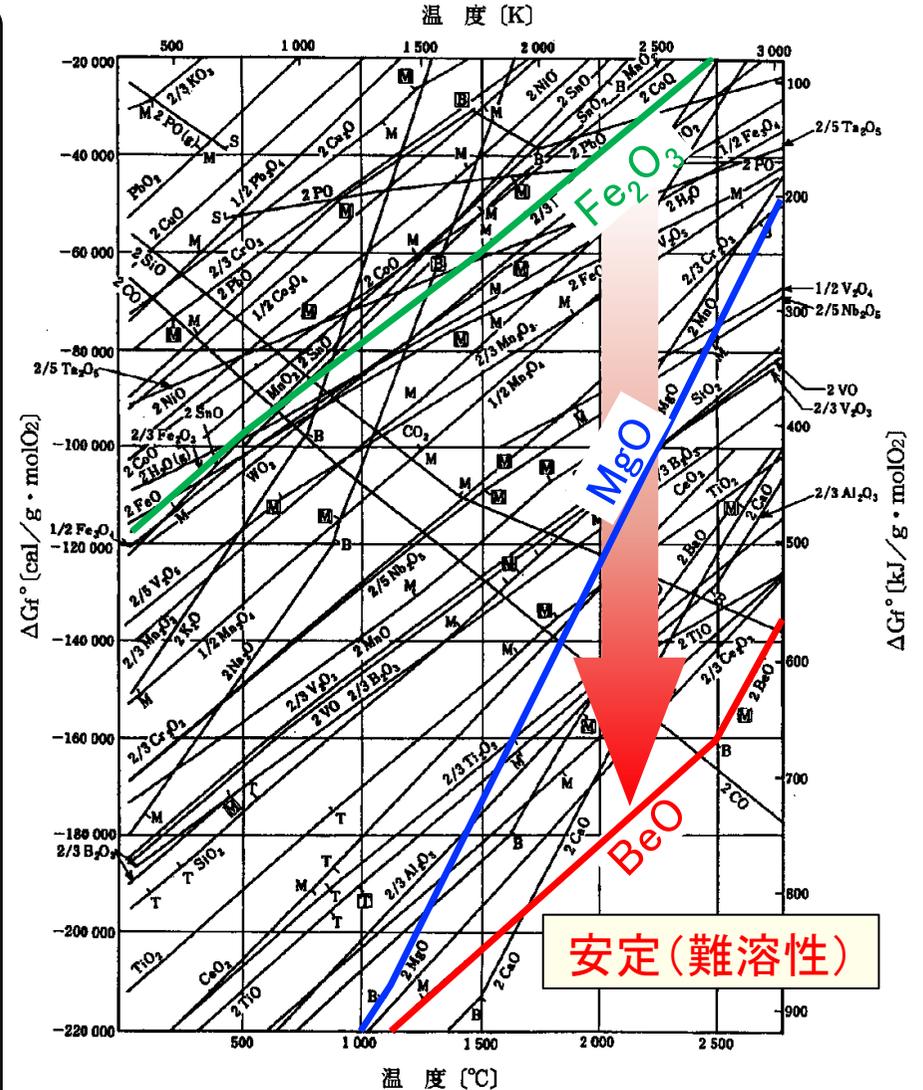


MW: マイクロ波

還元処理にMW加熱を利用することで
処理温度を数百°C低くすることが可能。

新技術の250°C以下という
極端な低温処理化には至らず。

酸化物の標準生成自由エネルギー-温度図



S, T, M, B: おおのの金属の昇華・変態・融解・蒸発温度

[S], [T], [M], [B]: おおのの酸化物の昇華・変態・融解・蒸発温度

<https://astamuse.com/ja/published/JP/No/2002226926>

安定なBeOを含むBe鉍石の溶解が可能で、多種多様な鉍石(酸化物)等への適用性が高い

新精製技術の適用範囲の拡大可能性(2)

- **重要鉱種(23鉱種*)**: 供給リスク(埋蔵量、生産、輸出) + 「需要見通し等」より選定
 - レアメタル(15鉱種): Li, V, Cr, Co, Ni, Ga, Nb, Mo, Pd, In, Sb, Ba, Ta, W, Pt
 - レアアース(8鉱種): Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy
- **エネルギー多消費型及び高CO₂排出型プロセス**である4鉱種(Be, Mg, Al, Fe)

*)経済産業省 廃棄物・リサイクル小委員会資料より

元素	精製法例	原料例	精製プロセス概略例 (赤:高温処理)
Li	溶媒抽出法	リチウム鉱石	か焼->溶媒抽出->晶析->化合物化->電解->溶離
Be	熔融塩電解法	ベリル	熔融->急冷->結晶化->焙焼->昇華->析出
Mg	熱還元法	ドロマイト	焼結->還元->溶解
Al	バイヤー/ホールエル-法	ボーキサイト	加圧加熱->焙焼->電解
V	テルミット法	鉱石/原油由来	通電加熱->電子ビーム溶解
Cr	熔融還元法	クロム鉄鉱	電気炉熔融還元
Fe	たたら製鉄法	鉄鉱石	高炉還元->転炉/溶解炉精製
Co	溶媒抽出/還元法	Ni精製由来	焙焼->硫酸浸出->還元->硫酸浸出->溶媒抽出->電解
Ni	モンド法	硫化鉱	焙焼->硫酸浸出->還元->気化->分解
Ga	電解還元法	Al精製由来	ボーキサイト->加圧加熱->バイヤー液->電解
Nb	溶媒抽出/還元法	バイオクロア	フッ酸溶解->溶媒抽出->中和・か焼->還元
Mo	還元法	輝水鉛鉱	焙焼->酸化抽出->か焼->還元
In	溶媒抽出法	亜鉛精製由来	亜鉛ダスト->溶媒抽出->分離->鑄造->電解->真空鑄造
Sb	還元法	硫化鉱	乾燥->転炉->還元
Ba	溶媒抽出法	重晶石	還元->転炉->還元
Ta	還元法	タンタル鉱石	フッ酸溶解->溶媒抽出->晶出->還元
W	還元法	鉄マンガン鉱石	焙焼->析出->焙焼->還元
PGM	溶媒抽出法	PGM鉱石	アーク溶解->転炉->酸浸出->溶媒抽出->晶析・焼成
REE	溶媒抽出法	モナザイト	焙焼->塩酸浸出->熔融電解/溶媒抽出

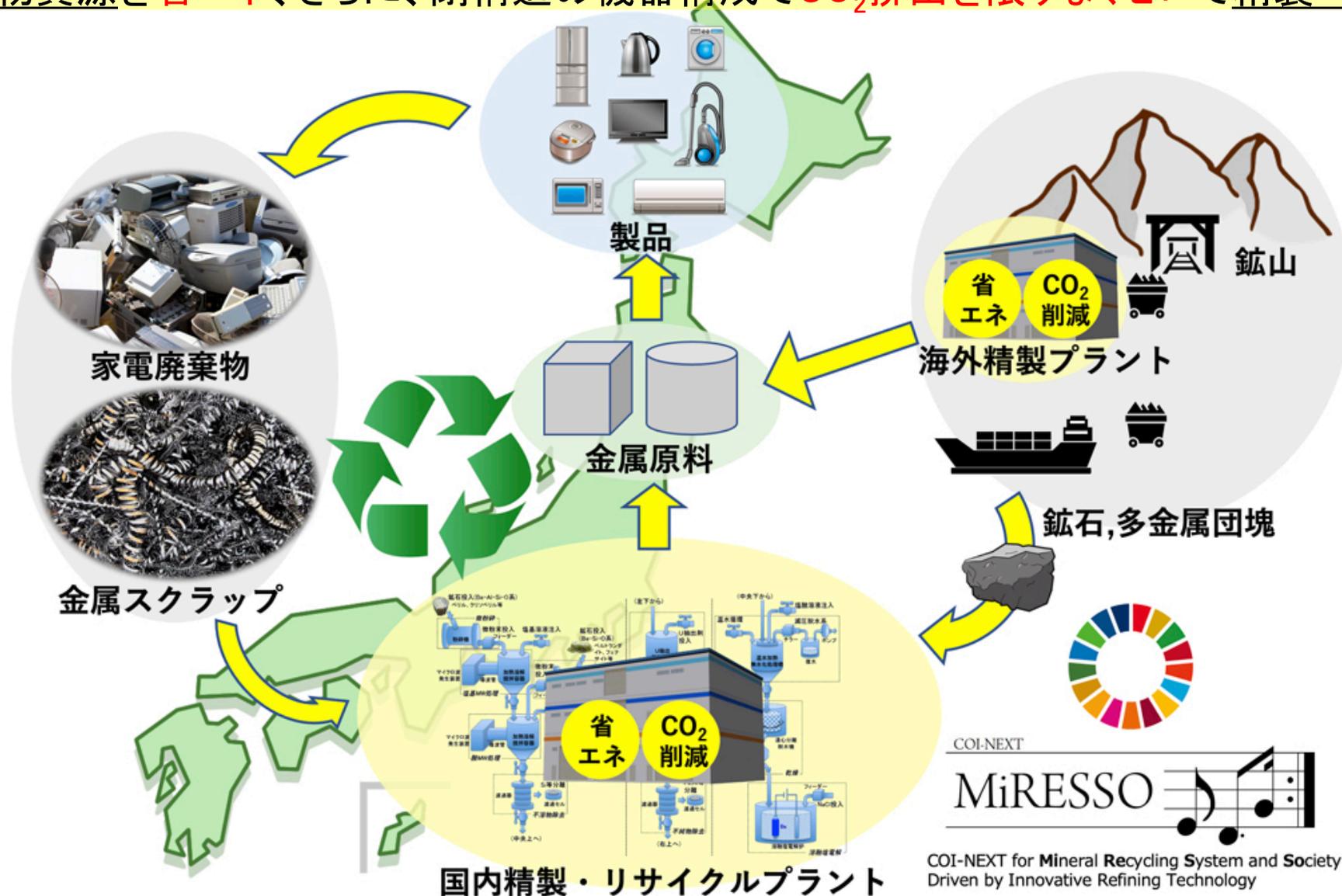
重要鉱種等(27鉱種)の精製プロセスにおいて、**高温処理**及び**粉塵取扱プロセス**を含む

複数の鉱石を同時に処理する「**一括精製**」も可能

PGM: Pt Group Metals(Pt, Pd)
REE: Rare Earth Elements (Y~Dy)

新技術による有限鉱物資源循環型社会を実現

有限鉱物資源を省エネ、さらに、閉構造の機器構成でCO₂排出を限りなくゼロで精製・リサイクル



令和2年度科学技術振興機構「共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT) (共創分野・育成型)」
で産学共創拠点の形成を目指す

実用化に向けた進め方

マイクロ波の産業利用例

マイクロ波加熱の応用

環境

- ・有害物質の分解・無害化
- ・プラスチックの油化・固化
- ・ごみ焼却・排ガス処理など

医療

- ・殺菌
- ・加温治療
- ・血管治療・切断など

食品

- ・殺菌、加工、解凍
- ・濃縮・乾燥など

フィルム・紙・印刷

- ・薄膜形成
- ・電子配線の焼成
- ・接着剤選択乾燥
- ・インク・塗料乾燥など

農業

- ・土壌の殺菌
- ・有害物の抽出・分解など

木材

- ・木材の乾燥
- ・接着・曲げ加工など

マイクロ波化学の応用

無機化学

- ・機能材合成
- ・ナノ材料合成
- ・接合・焼成・か焼
- ・製錬・冶金
- ・乾燥など

有機・高分子化学

- ・急速材料・錯体合成
- ・選択的反応合成
- ・溶媒・触媒無し反応
- ・ゴムの加硫・発泡
- ・高分子合成など

触媒化学

- ・不均一・均一触媒合成
- ・高品質触媒合成など

生化学

- ・酵素反応
- ・DNA染色など

分析化学

- ・成分抽出・濃縮
- ・酸・塩基処理
- ・高速濃縮・分解など

*)堀越智編「よくわかる電磁波化学」より

産業規模での事業実績を有する

実用化に向けて:

- ・スケールアップの**段階的な実証**は必要ではあるが、
- ・産業規模への**発展的拡大への技術的な課題はない。**

企業の皆さまへの期待

- ・ 当該技術の適用により、以下に貢献。
 - ・ CO₂排出低減
 - ・ 省エネルギー化
- ・ 関連企業の皆さまとの共同研究や、「共創の場形成支援プログラム」へのご参画を希望。
- ・ 一次原料からリサイクル資源に至る循環型サプライチェーンの構築の実現が期待される技術です。

本技術に関する知的財産権

特許出願①

- ・ 発明の名称 : ベリリウム溶液の製造方法、ベリリウムの製造方法、水酸化ベリリウムの製造方法、酸化ベリリウムの製造方法、及びベリリウム酸化物
- ・ 出願番号 : 特願PCT/JP2020/032263
- ・ 出願人 : 量子科学研究開発機構、株式会社化研
- ・ 発明者 : 中道 勝、金 宰煥、中野 優、赤津 孔明、米原 和男、川上 智彦

特許出願②

- ・ 発明の名称 : ベリリウム溶液の製造方法、ベリリウムの製造方法、水酸化ベリリウムの製造方法、酸化ベリリウムの製造方法、溶液の製造装置、ベリリウムの製造システム、及びベリリウム
- ・ 出願番号 : 特願PCT/JP2020/032264
- ・ 出願人 : 量子科学研究開発機構
- ・ 発明者 : 中道 勝、金 宰煥、中野 優、赤津 孔明

特許出願③

- ・ 発明の名称 : 無機物溶液の製造方法、及び、無機物溶液の製造装置
- ・ 出願番号 : 特願2021-38661
- ・ 出願人 : 量子科学研究開発機構
- ・ 発明者 : 中道 勝、中野 優、金 宰煥、黄 泰現

産学連携の経歴

- ・ 2017年- 株式会社化研と共同研究実施
- ・ 2019年8月 国内特許出願 特許出願① 特許出願②
- ・ 2019年9月 QSTプレス発表 (<https://www.qst.go.jp/site/press/31144.html>)
- ・ 2020年8月 国際PCT出願
- ・ 2020-2021年 JST共創の場形成支援プログラム(共創分野:育成型)に採択(代表機関:QST、参画機関:東北大、国際資源開発研修センター、日本ガイシ(株)、(株)化研)
- ・ 2021-2023年 JSPS科研費基盤研究Bに採択
- ・ 2021年3月 国内特許出願 特許出願③
- ・ 2021年5月 QSTプレス発表 (<https://www.qst.go.jp/site/press/20210527.html>)

お問い合わせ先

量子科学技術研究開発機構

イノベーションセンターまでお願いいたします。

TEL 043-206-3146 (共同研究)

043-206-3027 (ライセンス)

FAX 043-206-4061

e-mail innov-prom1@qst.go.jp (共同研究)

chizai@qst.go.jp (ライセンス)