

ITER/BA成果報告会2022「新たな未来を創造する核融合エネルギー」

マイクロ波プロセスのグローバルスタンダード化 ～鉍石からのBe、Li溶解実証～

Making the microwave process a global standard

- Demonstration of dissolving of Be and Li from ores -



Microwave Chemical

**Make Wave,
Make World.**

世界が知らない世界をつくれ

2022年12月22日

マイクロ波化学株式会社
取締役CSO 塚原 保徳

【Mission】

Make Wave, Make World 世界が知らない世界をつくれ

【Vision】

**100年以上変わらない化学産業を革新し、モノづくりの世界を変革する
-マイクロ波プロセスをグローバルスタンダードに-**



マイクロ波法によるペグマタイト鉱石からの ベリリウム溶解実証

Demonstration of dissolving of Be from ores

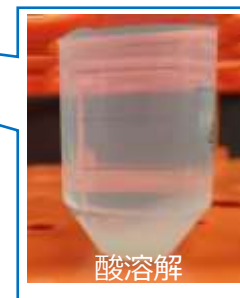
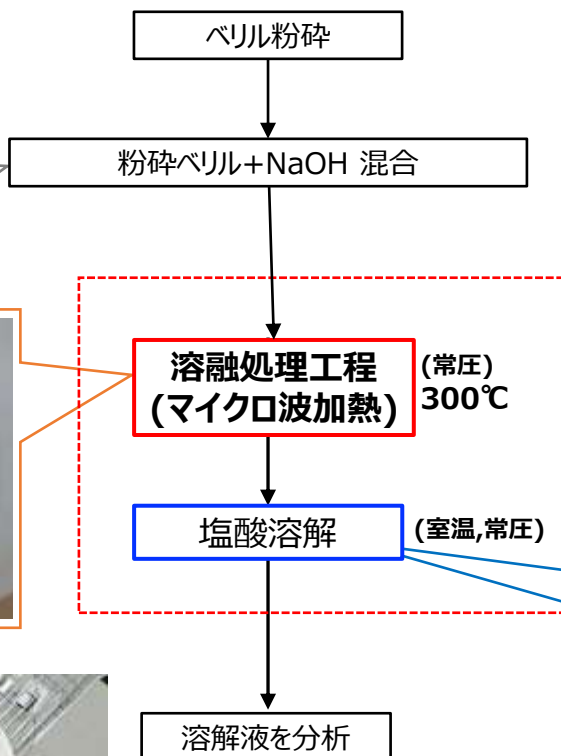
国立研究開発法人
量子科学技術研究開発機構



マイクロ波化学株式会社



Demonstration of dissolving of Be from ores



溶解度 (抽出率)

Be : 100 %
Al : 100 %
Si : 30 %

100g規模でのBe鉱石(ベリル)からのBe全溶解実証

マイクロ波法によるスポジュミン鉱石からの リチウム溶解実証

Demonstration of dissolving of Li from ores

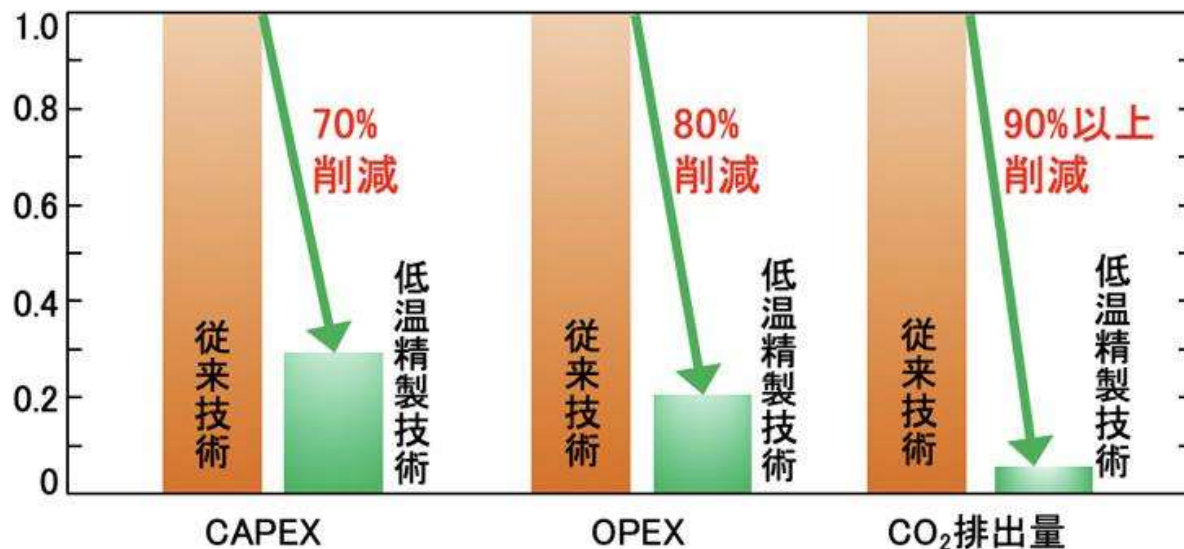
国立研究開発法人
量子科学技術研究開発機構



マイクロ波化学株式会社



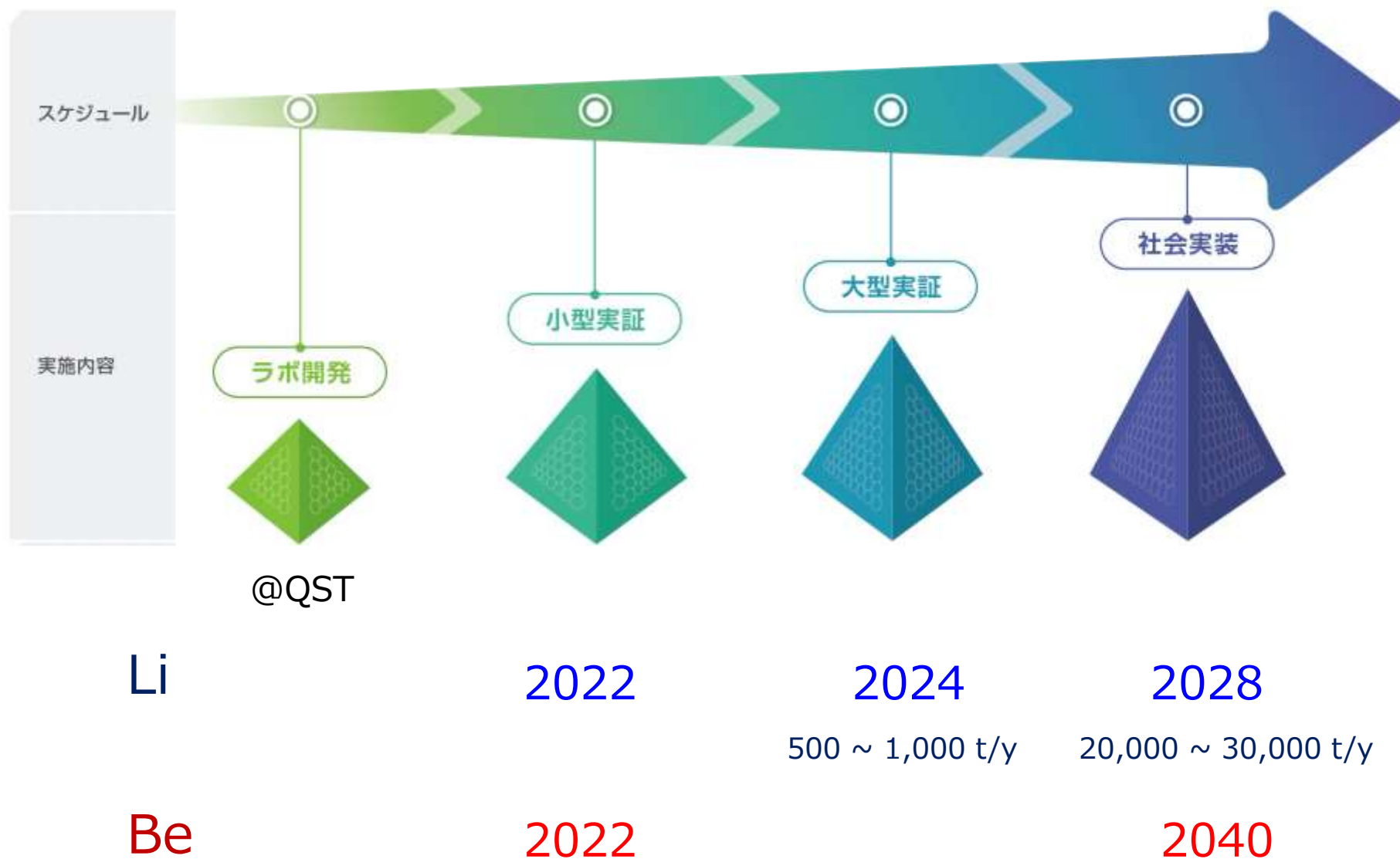
Demonstration of dissolving of Li from ores



- ・ 実鉱石(スポジュミン)を使った溶解実証
- ・ CAPEX、OPEX、CO₂ 大幅削減

2022年1月、2022年7月プレスリリース

Roadmap



QST Team



増殖機能材料開発グループ(左より)
赤津孔明
横浜翔太
中道勝
中野優

QST六ヶ所研究所

会社概要 Company Overview



会社名

マイクロ波化学株式会社

設立

2007年8月15日

代表者

吉野 巖

従業員数

60名（博士号取得者15名）

所在地

〒565-0871
大阪府吹田市山田丘2番1号フォトニクスセンター5階

主要事業

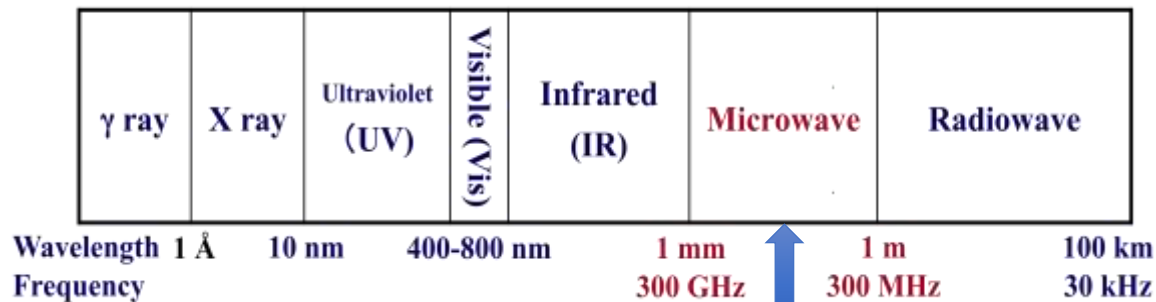
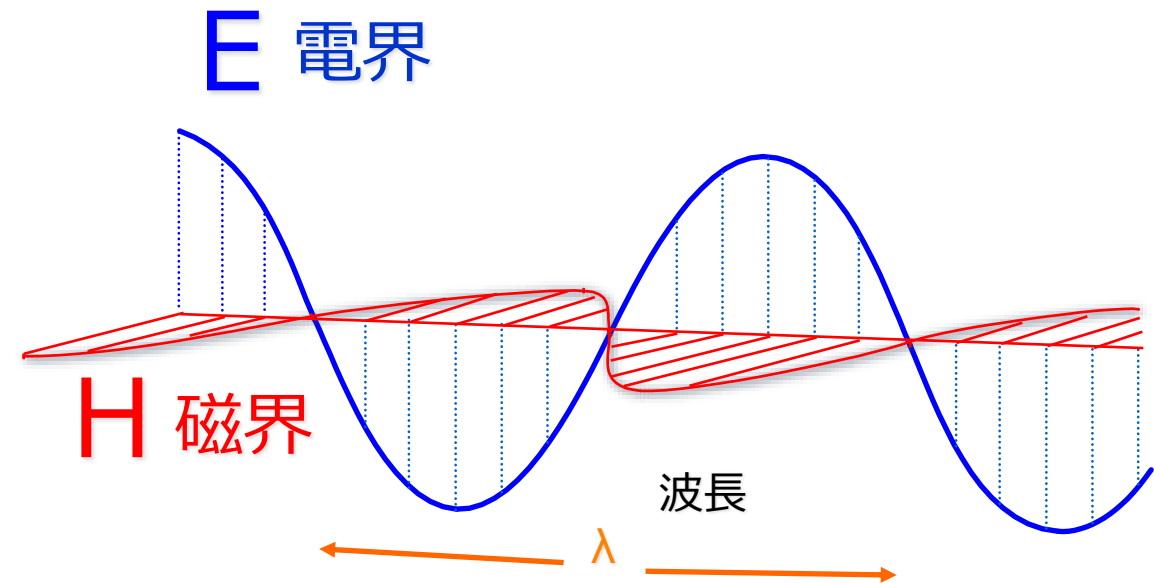
マイクロ波化学技術プラットフォームを活用した研究
開発からエンジニアリングまでのソリューション提供

* 従業員数は2022年6月末現在の数値を掲載

※ 数値を掲載

Microwave

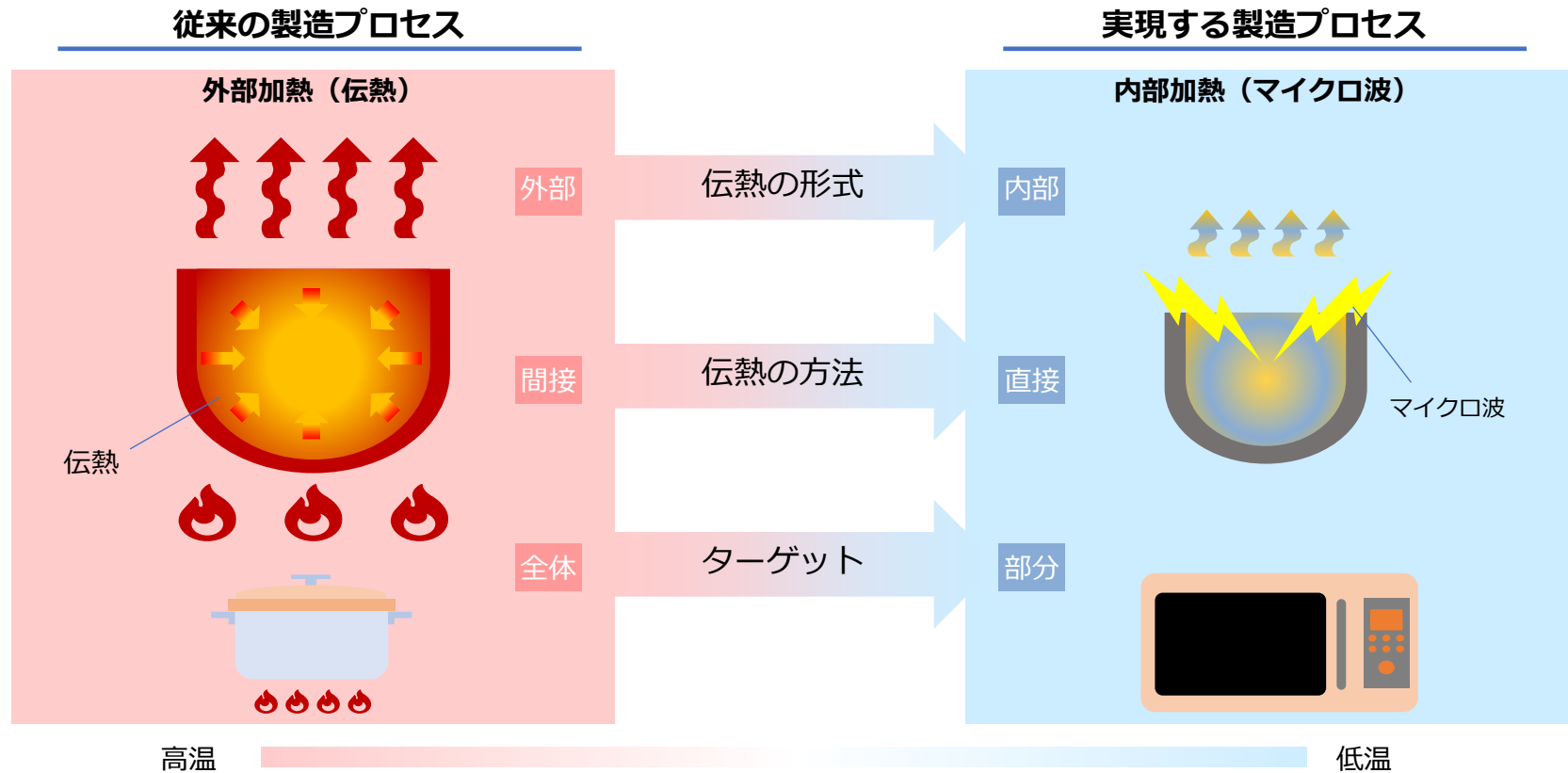
マイクロ波は電磁波の一種であり、携帯電話の基地局やレーダーなどの通信、電子レンジなどに利用されます。



2.45 GHz 電子レンジ

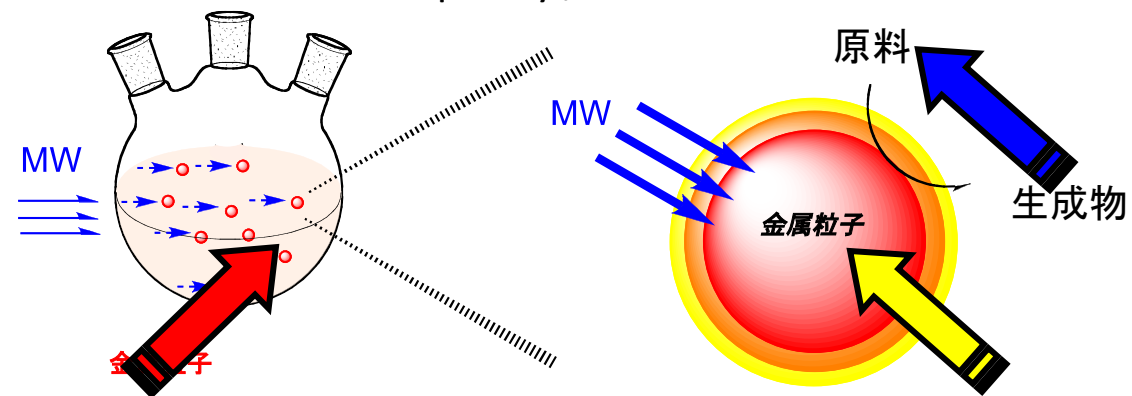
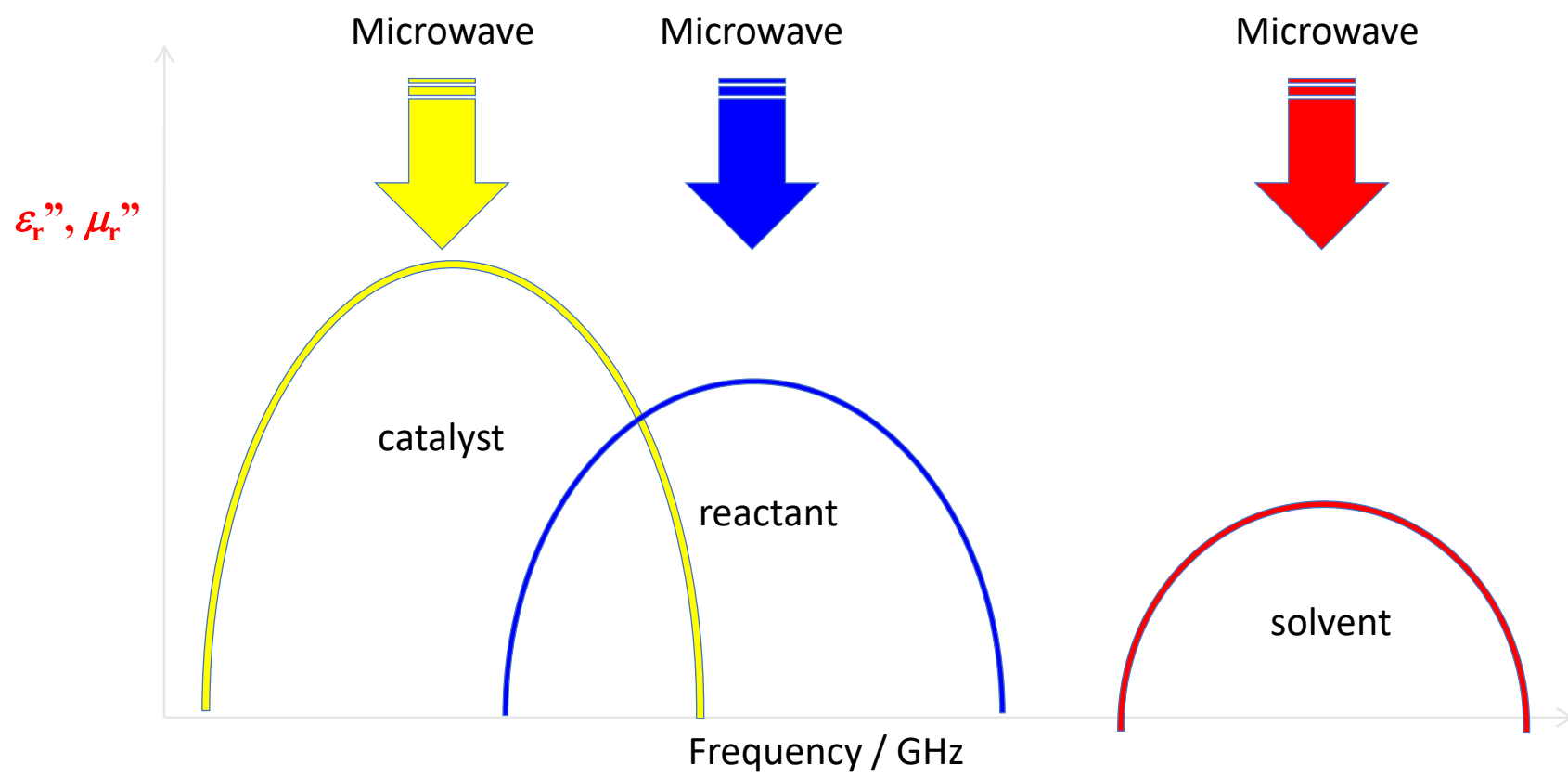
マイクロ波プロセスの特徴 Microwave Process : Feature

当社はマイクロ波技術を活用し、化学産業の製造プロセスを劇的に変革します。



※伝熱（従来の方法）は反応器の外部から間接的に全体にエネルギーを伝えるが、マイクロ波は内部から直接的にターゲットした部分にエネルギーを伝えることから「真逆」の伝達手段となる

Microwave Transmission Technology



Microwave Reactors – Examples



CR装置
(実証機 / Phase 2)



有機合成マイクロ波反応器
(実機 / Phase 3)

法令対応-消防法 Fire Service Act



Microwave Process : Benefits (1/2)

化学産業は100年以上前から熱と圧力を用いた製法に依存していますが、化学産業の製造プロセスに従来の方法とは全く異なるマイクロ波技術を導入することによって、製造プロセスの改善・新素材開発・脱炭素化など様々なベネフィットを提供することが可能です。

これまでの化学産業



提供元 : BASF Corporate History
1900年当時



現在

イノベーション



イノベーションによるベネフィット

製造プロセスの改善

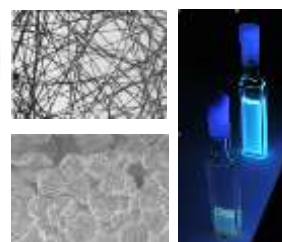


エネルギー消費量は
従来の1/3^{*1}

加熱時間は
従来の1/10^{*1}

用地面積は
従来の1/5^{*1}

新素材開発



新素材の製造コストを実用可能な水準まで低減、或いは、従来法では実現困難な高品質新素材の開発

脱炭素化



再生エネルギーによる電化と組み合わせることで、90%^{*1}のCO₂排出量を削減

*1 : 当該数値は大阪にて稼働させた脂肪酸エステルの特許工場より推計

Microwave Process : Benefits (2/2)

C NEUTRAL 2050 design

再生エネルギーによる電力・マイクロ波によるエネルギーは100%のCO₂排出削減を可能にします。

マイクロ波法活用によるエネルギー当量削減実績 : ① マイクロ波によるエネルギー当量削減効果



マイクロ波法活用によるCO₂排出量削減実績 : ① マイクロ波によるエネルギー当量削減効果 × ② エネルギー源ごとのCO₂排出原単位



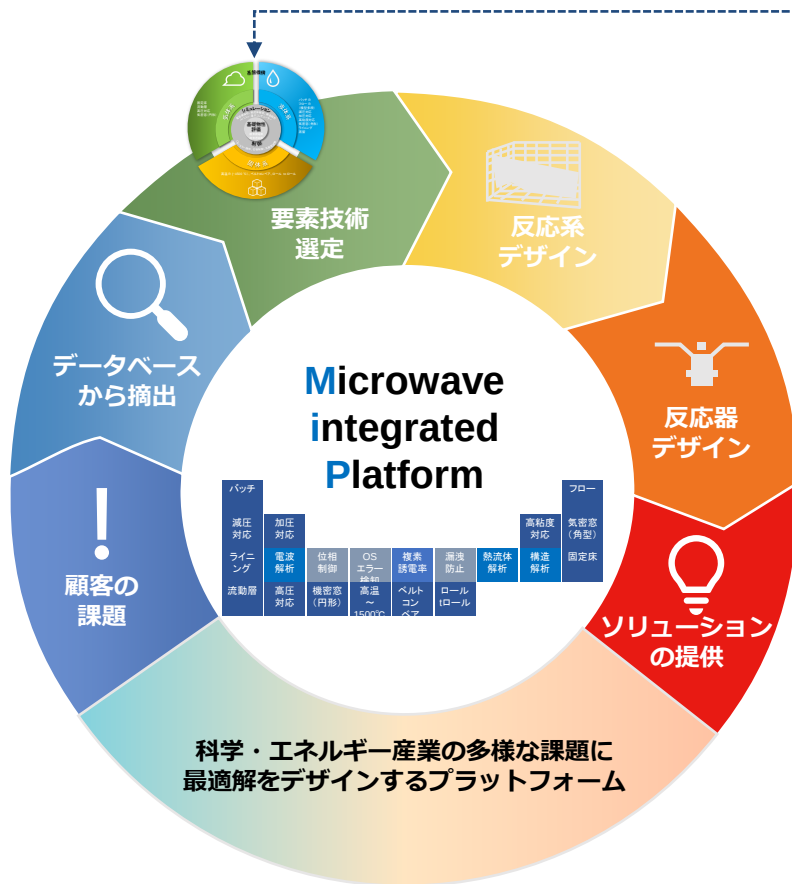
CO₂排出削減効果は、2つの要素で決まります。1つ目は、エネルギー消費量、2つ目は、使用するエネルギー源であり、その掛け算で削減効果が決まります。マイクロ波を用いると多くの反応において消費エネルギーが減少します。さらにカーボンニュートラルの流れにおいては、世界の化学メーカーは現行の化石燃料を大幅縮小し、自然エネルギーを使うことを前提としてロードマップを描いており、エネルギー源のCO₂排出原単位も小さくなります。

注：MW法（マイクロ波法）は太陽光発電電力の利用を前提、CO₂排出量削減実績及びエネルギー当量削減実績は当社推計
従来法データは当社試算であり、MW法データ（マイクロ波法）は商業レベルの当社実証機に基づくデータ

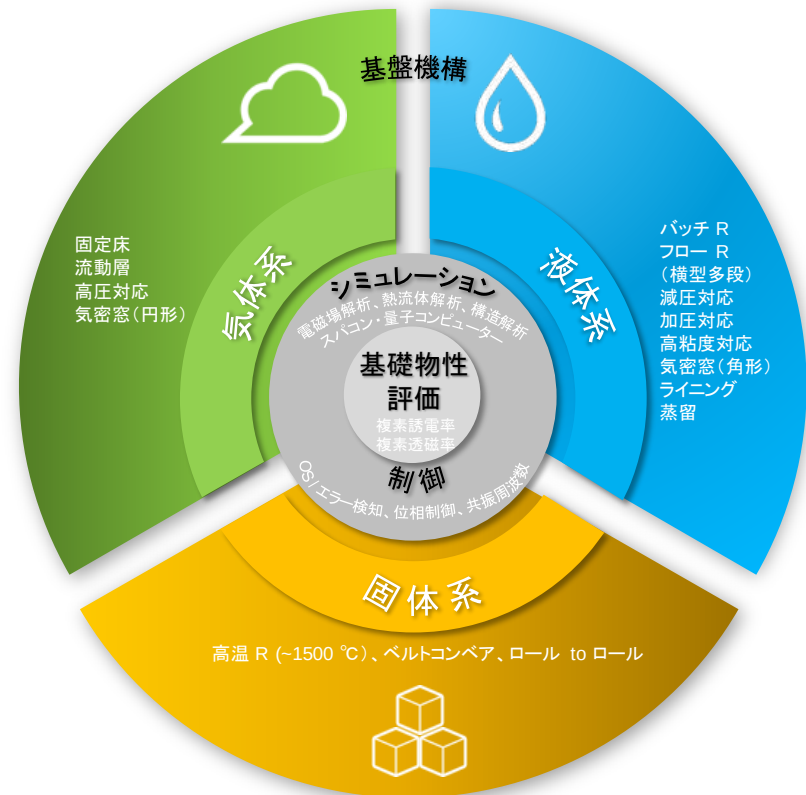
Technology Platform and Core Technologies

まず顧客の課題に対して仮説をデータベースから抽出した後、要素技術群より使用技術を選定し、反応系のデザイン、及び反応器のデザインを行い、最終的にソリューションを提供します。

当社の技術プラットフォーム



当社の保有する要素技術群



Design of ϵ'' and E

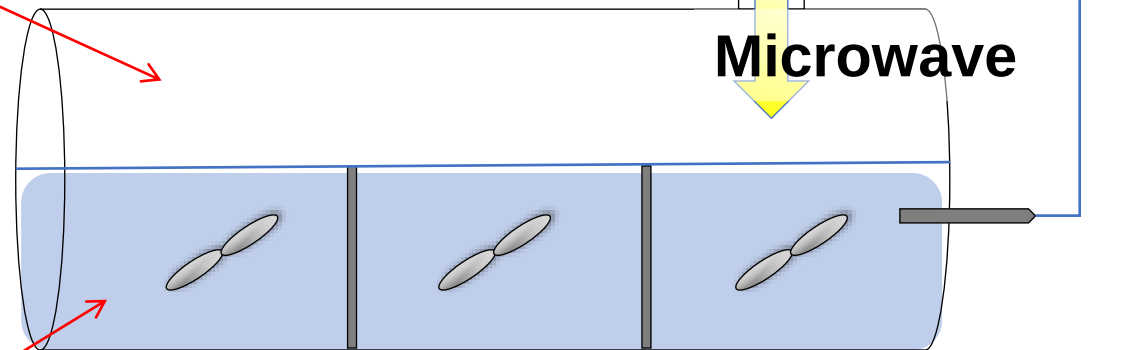
どのようにマイクロ波を 伝達・分布させるか？

反応機

【エンジ】

- 1 電磁場解析/流体解析
- 2 MWリアクターデザイン
- 3 スケールアップ: ベンチ→パイロット

$$P = \alpha \cdot \epsilon'' \cdot E^2$$



反応系

【R&D】

- 1 複素誘電率 測定、解析、解釈
- 2 マイクロ波反応系デザイン
- 3 マイクロ波触媒

$$P = \alpha \cdot \epsilon'' \cdot E^2$$

何にマイクロ波を 伝達するのか？

反応系デザイン：マイクロ波吸収能 MW Reaction Design

何が、どの程度、どのような条件でマイクロ波を吸収するのか？

P [W/m³]: 単位体積あたりのエネルギー損失

$$P = \frac{1}{2} \sigma |E|^2 + \pi f \epsilon_0 \epsilon_r'' |E|^2 + \pi f \mu_0 \mu_r'' |H|^2$$



ϵ_r'' と μ_r'' を設計することにより、マイクロ波が対象物質と選択的に相互作用し、高効率な反応系の構築が可能になる。

How to 設計？

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon''$$

ϵ_r'' 、 μ_r''

(I) 物質固有値

(II) 周波数依存性、温度依存性

P [W/m³]: Power dissipation per unit volume

$|E|$ [V/m]: Electric field

$|H|$ [A/m]: Magnetic field

σ [S/m]: Conductivity

f [1/sec]: Frequency

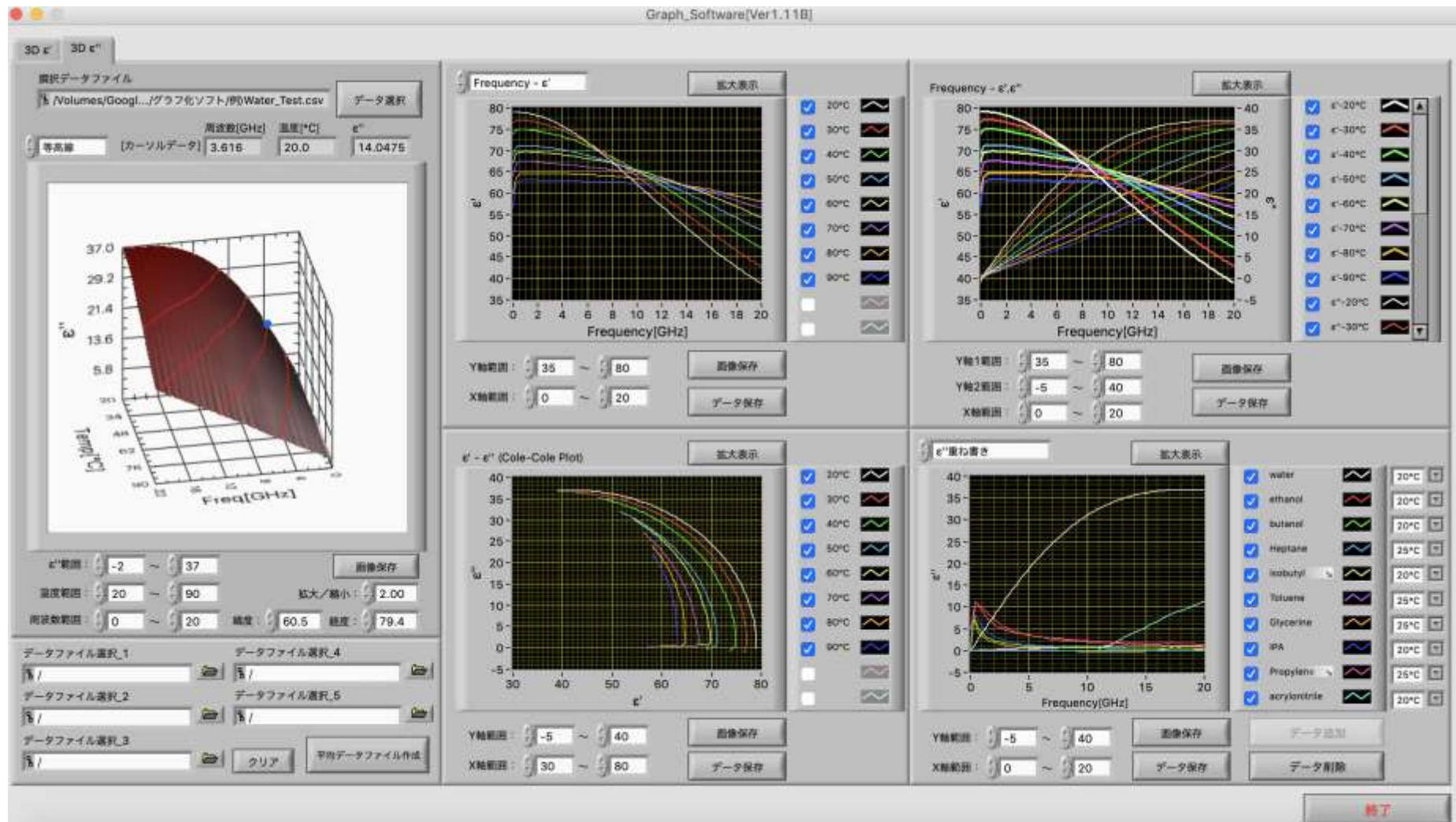
ϵ_0 [F/m]: Permittivity in vacuum

ϵ_r'' : Dielectric loss

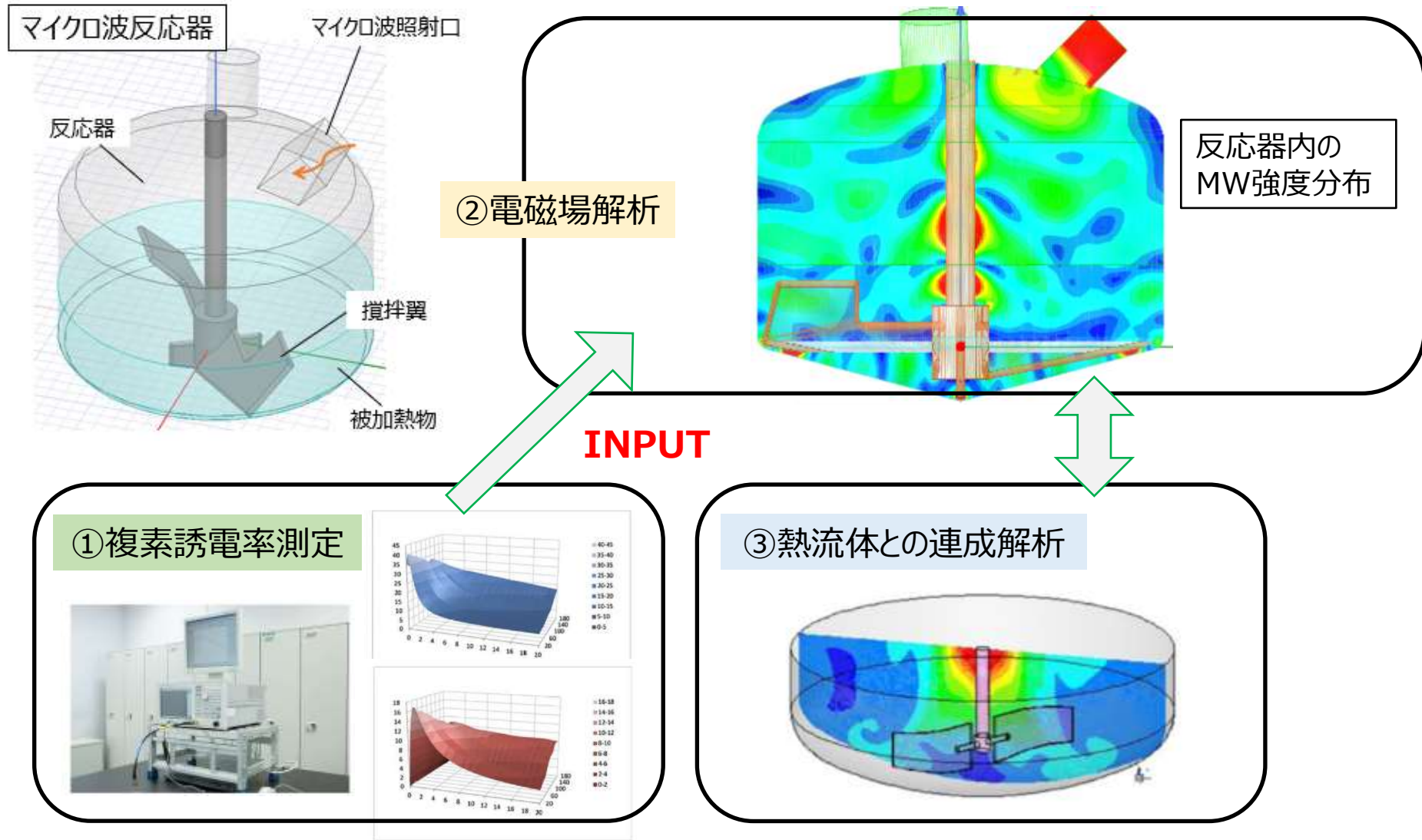
μ_0 [H/m]: Permeability in vacuum

μ_r'' : Magnetic loss

ライブラリアン（複素誘電率解析ソフト） librarian



マイクロ波反応器のデザイン MW Reactor Design



Microwave Process

合成・
重合



医薬合成



医薬合成



ナノ粒子



合成



重合

薄膜



薄膜



乾燥

乾燥



ラボ汎用装置群



凍結乾燥



焼成



焼成・
分解

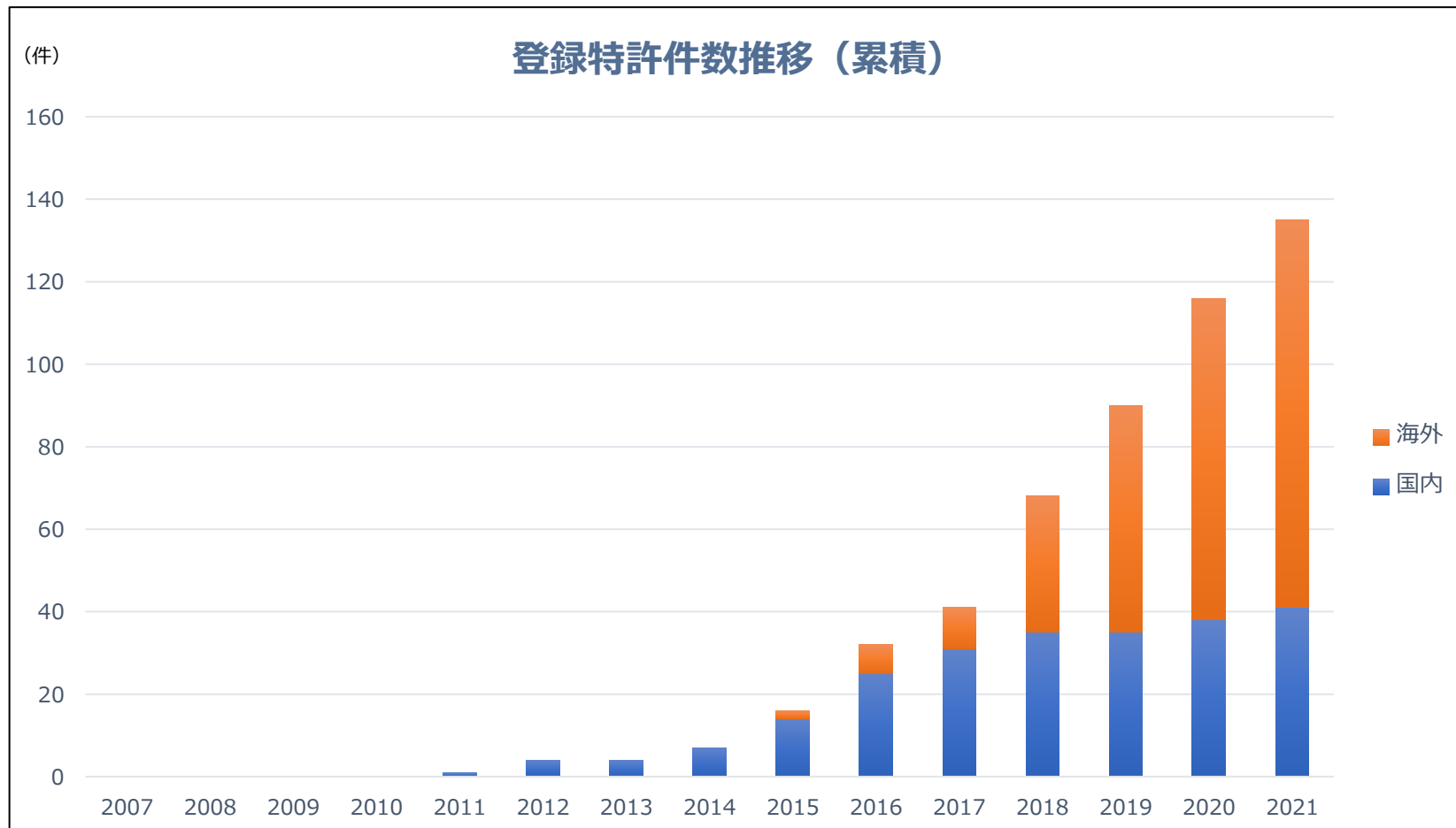


ケミカルリサイクル

スケール

Patent Strategy

開発で得た反応系や反応器のデザインに関する知見は秘匿化（ノウハウ化）し、ハードウェアを中心とした知見は特許化することで競争優位性を確保しています。



History

脂肪酸エステル 3200 t/y



2014

世界初工業化

ポリマー 1000 t/y



2016

食品添加物 1000 t/y



2017

太陽化学(株)

ペプチド医薬
(30 L, GMP)
ペプチスター(株)



2019

三菱ケミカル(株)
本田技研工業(株)



2021

PMMA
リサイクル

三井化学(株)



2022

ASR, SMC, PU
リサイクル

炭素繊維

住友化学(株)

水素

2022~

鉾山

QST

リチウム、ベリリウム

鉄鋼・ガラス

2030~

今後

Track Records①:Peptide Medicine GMP Formulation Reactors

積水化学(株) シオノギ製薬(株)
ペプチスター(株)
ペプチドリーム(株)

× ペプチド医薬品

GMP対応リアクター



顧客Benefit スケールアップ実現※、反応時間短縮、高収率・低副生成物、原価低減

進捗

Phase 1
ラボ

Phase 2
パイロット

Phase 3
商用プラント

Phase 4
継続収益

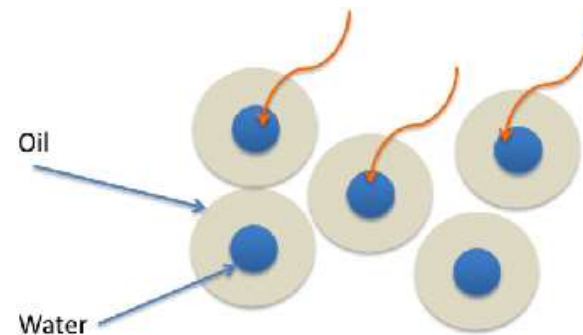
2019年10月
竣工商業運転開始

※競合となるペプチド合成装置メーカーは存在したがスケールアップを実現出来ず

太陽化学(株) × 乳化剤



【技術】



Water in Oil (WO Emulsion)

顧客Benefit

参入（技術）障壁クリア、ターゲット物質製造、品質向上、原価低減

進捗

Phase 1
ラボ

Phase 2
パイロット

Phase 3
商用プラント

Phase 4
継続収益

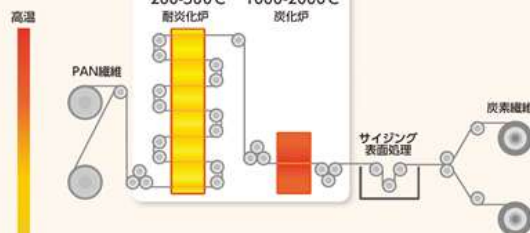
2022年
商業出荷開始

三井化学(株) × 炭素繊維

CF製造工程 PAN系炭素繊維の製造プロセス

従来法

- ・処理時間が長い
- ・装置が大きくなる
- ・消費エネルギーが多い



マイクロ波法

- ・処理時間が短い
- ・装置が小さくなる
- ・消費エネルギーが少ない



加熱原理 (安全・クリーン)

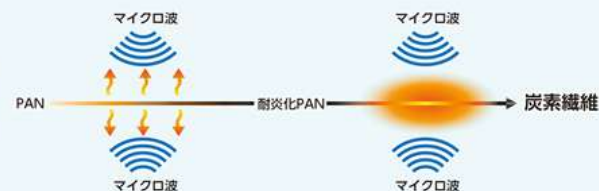
従来法

間接加熱
全体的に高温



マイクロ波法

直接加熱
局所的に高温



顧客Benefit

CO2削減、エネルギーコスト（原価）低減、Small Footprint

進捗

Phase 1
ラボ

Phase 2
パイロット

Phase 3
商用プラント

Phase 4
継続収益

2018年

三菱ケミカル(株) × アクリル樹脂分解 (ケミカルリサイクル)



外部加熱では、加熱対象の温度以上の熱源が必要であり、装置が大型になります。
マイクロ波は内部から直接加熱できるため、装置が小型化しエネルギー効率が上がるだけでなく、
装置を加熱対象の温度以上に加熱する必要もないため安全性も向上します。

顧客Benefit

CO2削減、エネルギーコスト（原価）低減、安全性、Small Footprint

進捗

Phase 1
ラボ

Phase 2
パイロット

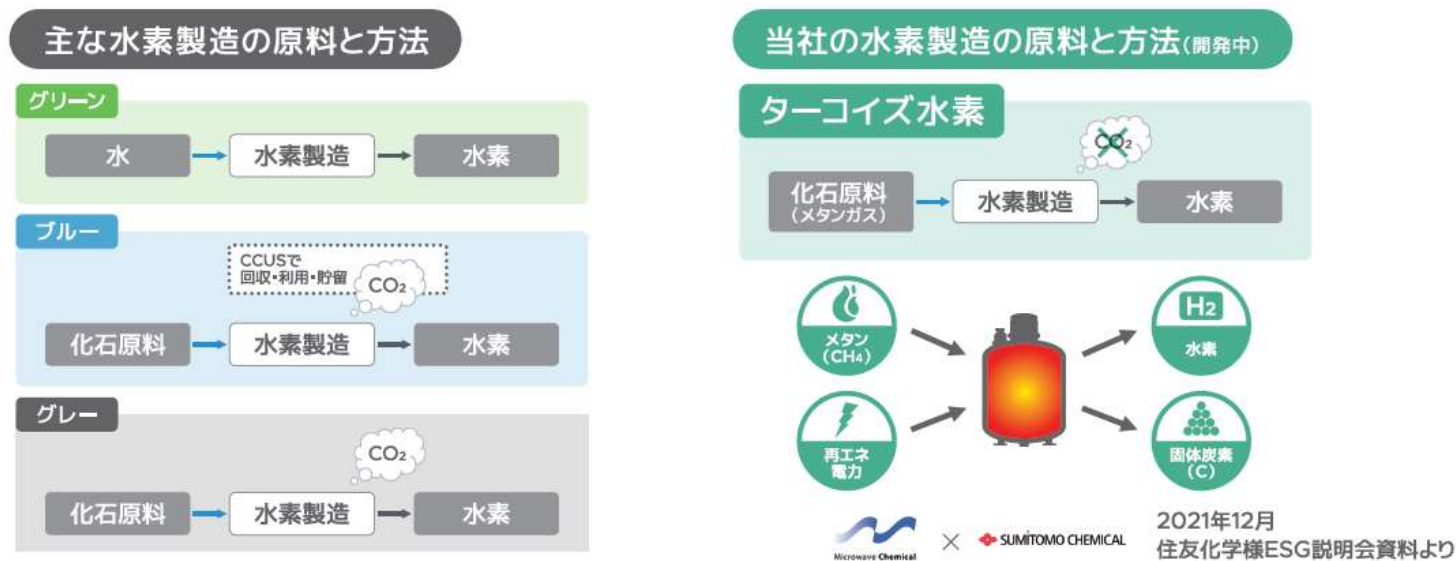
Phase 3
商用プラント

Phase 4
継続収益

2024年
稼働開始予定

住友化学(株) × ターコイズ水素

GHGの1種であるメタンガスを原料として、クリーンな水素を製造



顧客Benefit

CO₂削減、エネルギーコスト(原価)低減

進捗

Phase 1
ラボ

Phase 2
パイロット

Phase 3
商用プラント

Phase 4
継続収益

2022年

Carbon Neutral: Our Vision

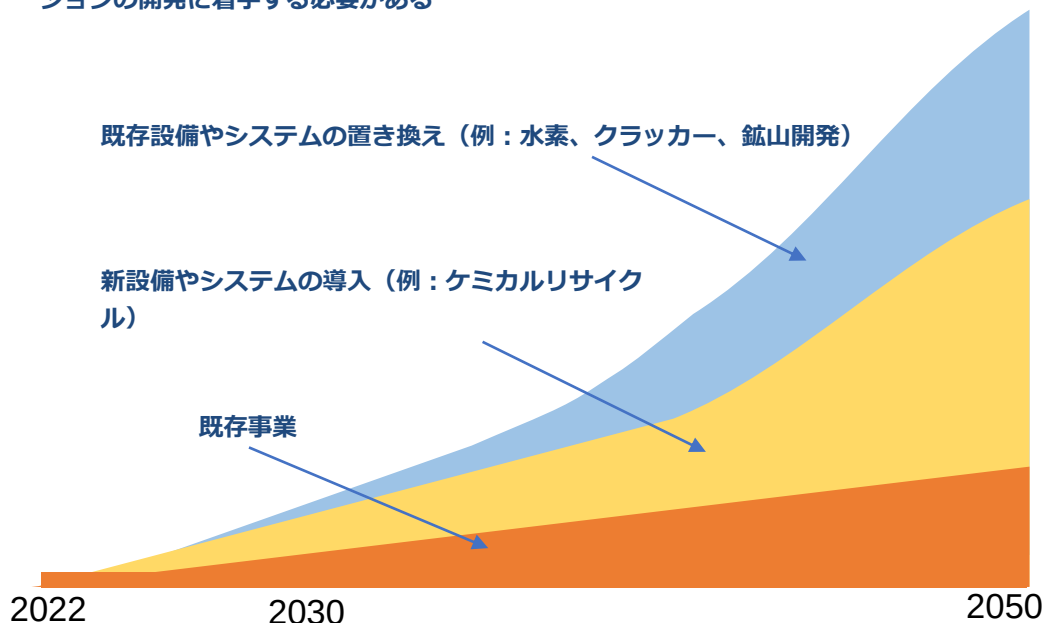
当社は化学メーカーとのアライアンスを中心に、化学業界には革新的な電化プロセスを、鉄鋼や自動車などの他業界には新技術・新素材を提供するソリューションで、カーボンニュートラルへの取り組みに貢献します。

C NEUTRAL 2050 design

高エネルギーによる電化・サイト内プロセスは約90%のCO₂排出削減を可能にします。

当社の成長イメージ

- ▶ 化学産業をはじめとした重厚長大な製造業の設備更新サイクルは40年であり、既存設備の30%は今後10年以内に設備改善の為の大規模投資が必要となる見通し*1
- ▶ カーボンニュートラルを実現するためには、新しい革新的な技術を導入可能な状態にしなければいけない。一般的に新技術が実用化されるためには10年程度必要とされるため、「今」新しいソリューションの開発に着手する必要がある



脱炭素化に向け当社が着手しているソリューション

- 化学産業の電化シフト
 - クラッカーの電化
 - その他工程全般 (有機合成、乾燥等)



- 新規プロセス・素材を通じた他産業への貢献
 - 主としてエネルギー・製鉄・石油化学産業
 - ターコイズ水素
 - アンモニア
 - CO₂還元



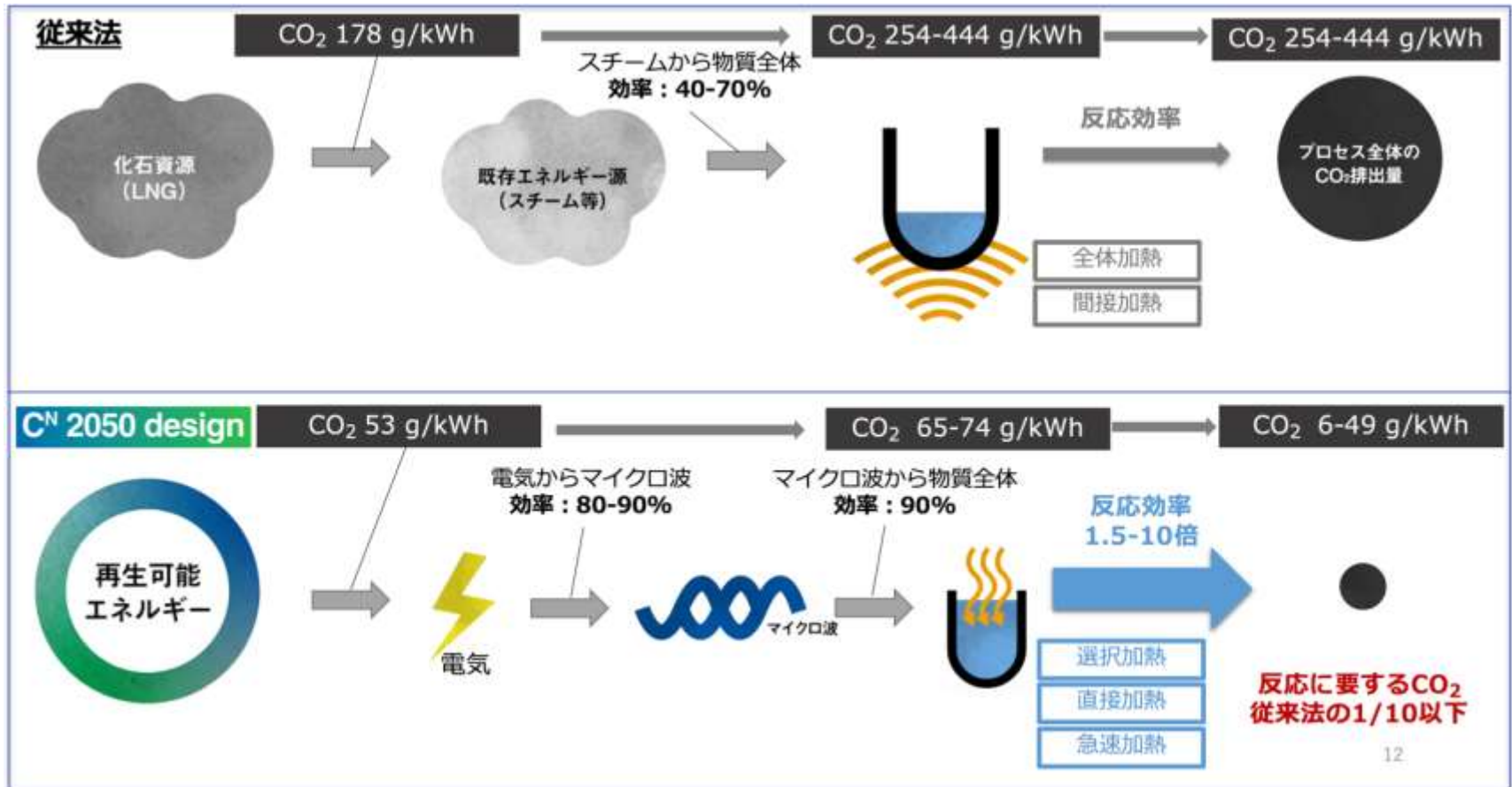
- 主としてモビリティ (自動車、他)・家電産業
 - 電池関連素材 (正極材他)
 - 軽量構造材
 - リサイクル素材 (ケミカルリサイクル)
 - リチウム・希土類 (鉱山開発)



正極材

*1: Net Zero by 2050 A Road Map for the Global Energy Sector IEA May 2021

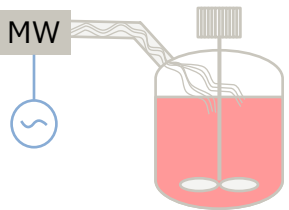
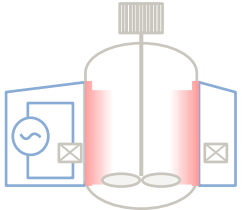
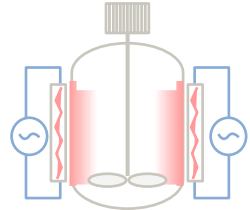
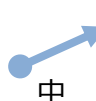
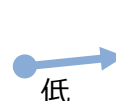
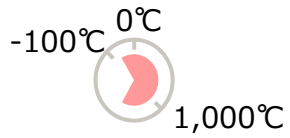
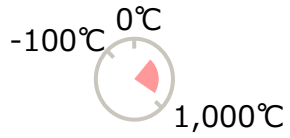
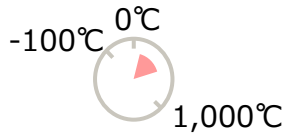
CO₂削減ロジック CO₂ reduction logic



12

Comparison with other electrification technologies

他の電化技術と比較をしても、マイクロ波は直接エネルギーを伝達可能な手段です。また、大型化やエネルギー効率、温度範囲など多くの観点でマイクロ波は優位性を持っています。

	マイクロ波加熱	IH加熱(誘導加熱)	電気ヒーター加熱
			
エネルギー伝達	直接	間接	間接
大型化	 容易	 制限あり	 制限あり
エネルギー効率	 高	 中	 低
温度範囲	 -100℃ 0℃ 1,000℃	 -100℃ 0℃ 1,000℃	 -100℃ 0℃ 1,000℃

Carbon Neutral: Petrochemical



Carbon Neutral : Mine industry

