

神鋼エアテック株式会社  
Shinko AirTech, Ltd.

# 超臨界CO<sub>2</sub>プロセスの工業利用

## 神戸製鋼Grでの製作事例

KOBELCO 神戸製鋼グループ

資源は無限大!  
自然界のガスの利用法を提案します

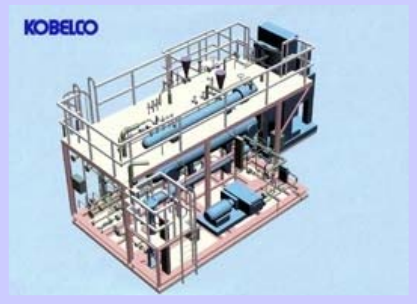
- ガス発生装置
- オンサイトガス供給
- ガス利用・産業機器材
- 産業用ガス・化成品



粗留⇒エタノール：超臨界CO<sub>2</sub>連続精製装置

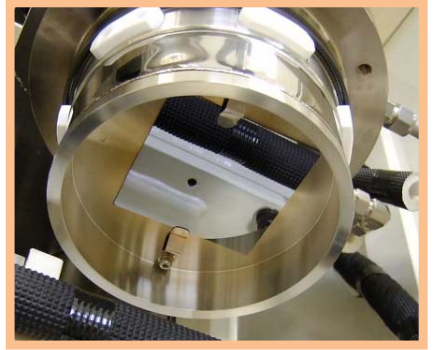
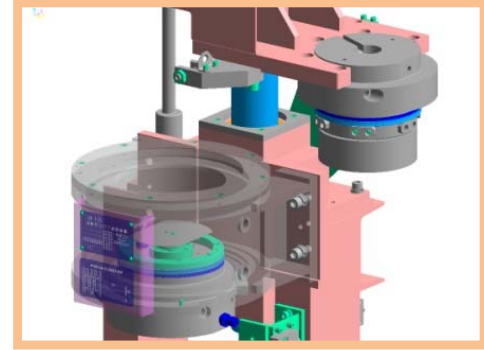


↑ 抽出器390Liter x 5基、1,500kg-CO<sub>2</sub>/Hr x 5台、国内  
↓ 抽出器390Liter x 1基、1,500kg-CO<sub>2</sub>/Hr x 1台、海外



食品関連用  
超臨界CO<sub>2</sub>抽出装置

半導体ウエハ  
超臨界CO<sub>2</sub>乾燥/成膜装置





年	世界	国内	事柄
1822年			・超臨界流体の発見 (フランス C.C.de LaTourにより存在が発見)
1978年			・コーヒー豆からの超臨界CO <sub>2</sub> 脱カフェイン (Bremen 独)
1982年			・ビール用超臨界CO <sub>2</sub> ホップ抽出 (独)
1984年			・超臨界CO <sub>2</sub> 香料抽出 (日本初、富士フーダー：30MPa, 100°C, 200Liter抽出容器, 400kg-CO <sub>2</sub> /Hr) ⇒ 図2参照
1985年			・n-ブテンの水和反応 (出光石油化学) ★通産省超臨界CO <sub>2</sub> アルコール濃縮プロジェクト開始～1994年、千代田化工建設 / 神戸製鋼他参画 ⇒ 図3参照
1987年			・化学工学会に「超臨界流体高度利用研究会」発足
1988年			・第一回SCF国際会議 International Symposium on Supercritical Fluids (ISSF) <small>第一回「超臨界流体利用環境負荷低減技術開発」(中間評価)分科会 資料7,平成14年4月25日他より, http://cat.vnet.tyimg/movie/columbus/008_01/info_04.pdf</small>
1997年			・超臨界CO <sub>2</sub> 玄米処理プラント稼働 (台湾：5.8m <sup>3</sup> 抽出器 x 3基 x 32.5MPa) ⇒ 図4参照 ・第四回SCF国際会議 @ 仙台国際会議場 ISSF
1998年			・世界初の超臨界水ケミカルリサイクル商業プラント稼働 (ポリウレタン原料(固体廃棄物：TDI残液) ⇒ 図5参照 ・超臨界水酸化(SCOW)で、半導体製造廃液処理プラントが稼働 (千葉県)
2000年			・超臨界CO <sub>2</sub> 木材含浸プラント稼働 (デンマーク：17m <sup>3</sup> 含浸容器 x 3基) ⇒ 図6参照 ★超臨界CO <sub>2</sub> 染色研究 地域コンソーシアム (NEDO/岡山県工技センター他) ⇒ 図7参照
2001年			・メラニン合成残渣からの超臨界水ケミカルリサイクルプラントが稼働 (韓国Namhae Chemical社)
2002年			・超臨界水酸化(SCOW)で、爆薬(DNT/MNT)製造工程の廃液処理プラントが稼働 (韓国Namhae Chemical社) ★超臨界CO <sub>2</sub> 電気めっき研究 (超臨界ナノプレーティングSNP) (東京農工大) ⇒ 図8参照 ★超臨界CO <sub>2</sub> ドライクリーニング装置開発 (経産省委託事業の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」) ⇒ 図9参照
2003年			・超臨界CO <sub>2</sub> えごま油抽出プラント稼働 (韓国：2.6m <sup>3</sup> x 2基 x 55MPa)
2004年			・超臨界CO <sub>2</sub> ワインコルク精製プラント稼働 (フランス：8.5m <sup>3</sup> x 3基) ・超臨界CO <sub>2</sub> 化粧品用ナノ複合粉体製造プラント @和歌山県 ★超臨界CO <sub>2</sub> 染色研究 経産省/繊維課(約5.7億円) (福井大学他) ～2007年
2006年			・第八回SCF国際会議 @ 京都国際会議場、ISSF ・超臨界CO <sub>2</sub> 超高压抽出装置 (UHDE社製：2Liter, 250MPa, 120°C) (2007年スペイン・セゴビア学会にて発表)
2007年			★超臨界CO <sub>2</sub> 塗装システム開発 (NEDO/産総研/加美電子工業他) αユニカブ プロセス(1996実用化)
2008年			★超臨界CO <sub>2</sub> 吸着剤再生プロセスの実証試験と稼働 (NEDO/タケノ他) ⇒ 図10参照 ★超臨界CO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> 成膜 (東大3DBEANセンター)
2009年			★超臨界CO <sub>2</sub> 金属めっき繊維 (NEDO/東レ・デジョン他)
2010年			・超臨界CO <sub>2</sub> ワインコルク精製プラント稼働 (スペイン：9m <sup>3</sup> x 3基) ⇒ 図11参照
2011年			・超臨界水連続式水熱合成によるナノ粒子LiFePO <sub>4</sub> 製造100ton/年プラント稼働 (韓国：Hanwha Chemicals)
2012年			・超臨界CO <sub>2</sub> 染色プラント稼働 (台湾：製作DeyCoo社) ⇒ 図12参照
2015年			・超臨界CO <sub>2</sub> ワインコルク精製プラント稼働 (フランス：20m <sup>3</sup> x 3基)
2017年			・超臨界CO <sub>2</sub> 高压ハーブ類・種子抽出装置稼働 (マレーシア：10 Liter x 2基, 100MPa) ⇒ 図13参照 ・超臨界CO <sub>2</sub> 脱カフェインプラント 国内初稼働 @三重県桑名市
2020年			・超臨界CO <sub>2</sub> 半導体デバイス用乾燥装置 (東京エレクトロン)



図3. 超臨界CO<sub>2</sub>粗留エタノール精製プラント



図11. 世界初のワインコルク精製プラント

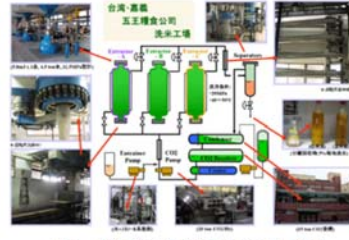
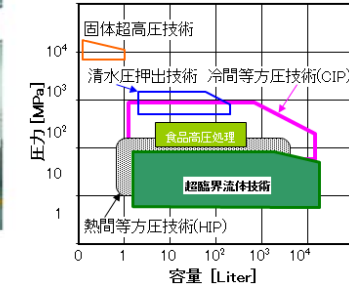


図6. 木材含浸プラント @ デンマーク



注記：★印は、経産省、文科省他のナショプロとして実施されたものです。

## 超臨界CO<sub>2</sub>流体(■)

## 超臨界水流体(●)

気体と液体の両特徴の制御可能な高圧流体

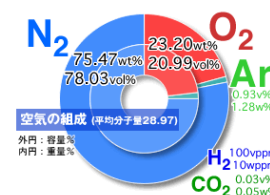
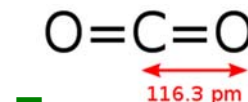
### 特長 / 利点

- ● 自然溶媒
- ● 処理後の易溶媒除去
- ● 物性制御
- 室温利用
- 四重極モーメントしきょくし
- ● 低分子・低粘性・低界面張力・高拡散/高浸透性
- 高熱流束
- ● 密度ゆらぎ、クラスタリング

- ● 密度可変
- ● 誘電率(溶媒特性)可変
- 溶解度・親和性可変
- ● イオン積可変
- 食品、熱敏感性物資の処理
- 高分子鎖との化学的相互作用 / 可塑化効果

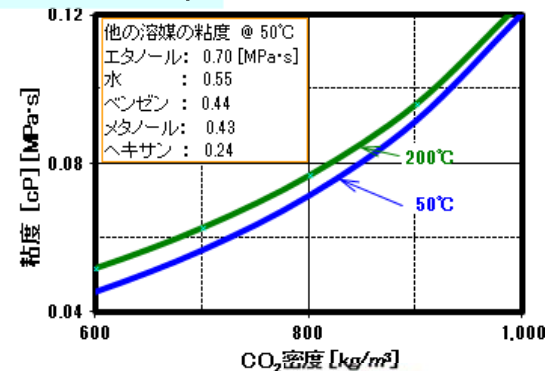
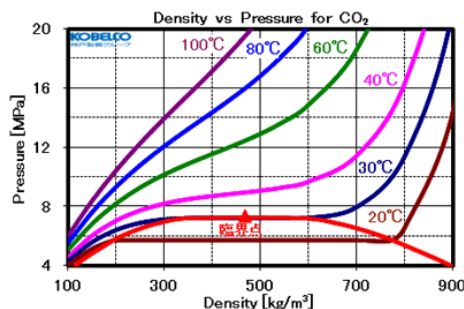
### 超臨界CO<sub>2</sub>流体・応用技術

- ・微粒子生成、濾過・乾燥
- ・昇圧・高密度化含浸
- ・爆砕処理 他
- ・二段階抽出・分離、分画
- ・相平衡の変更
- ・完全混合相 他
- ・含浸 / 付与 他
- ・高拡散流速/高埋込性 (CVD) 他
- ・超臨界プラズマ 他



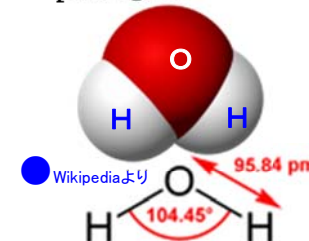
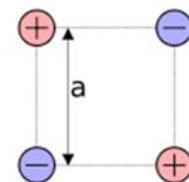
### 欠点 / デメリット

- ● プロセス構築にノウハウ必要:「想定外」
- ● 高圧/装置が高価
- ● 高温/装置が高価
- 高圧ガス保安法該当
- 温室効果ガス排出量に該当



### 超臨界CO<sub>2</sub>流体・適用分野

- ① 抽出 / 除去: 抽出・除去/洗浄・乾燥
- ② 含浸 / 付与: 含浸・染色/色素・メッキ/成膜・CVD
- ③ その他 : 微粒子・発泡・殺菌・他

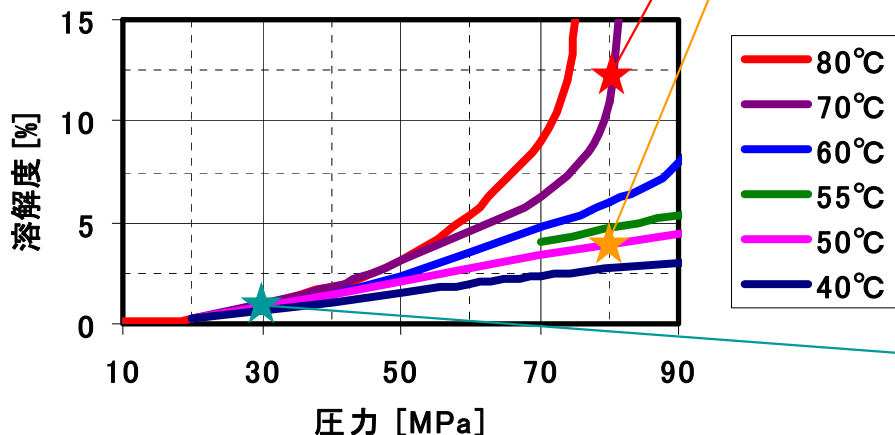




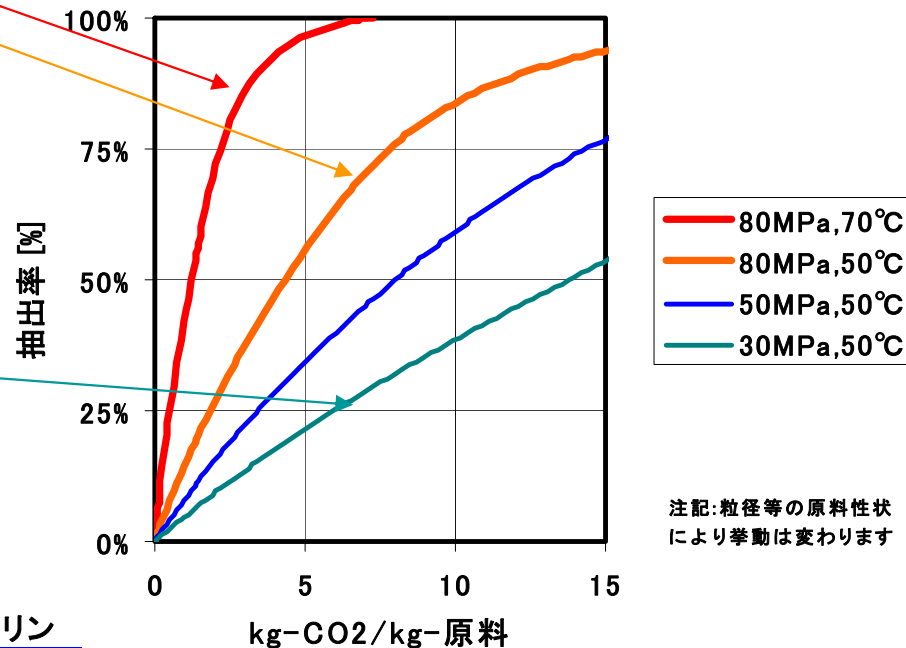
## 従来以上の高い生産効率、高収率への期待

60℃以上の揮発性が高まり、飛躍的に溶解度が大きくなる領域では、抽出速度が速くなります。

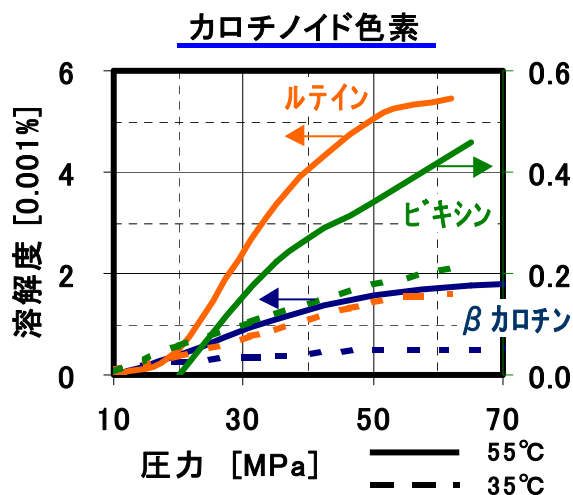
天然物油脂 (トリグリセリド)



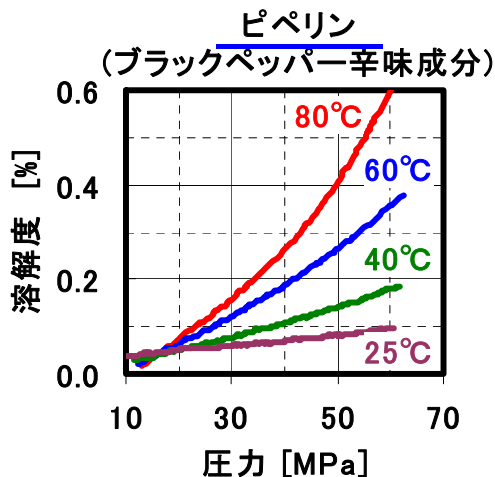
天然物油脂の抽出率検討例



超臨界CO2中での圧力依存の溶解性 (例)

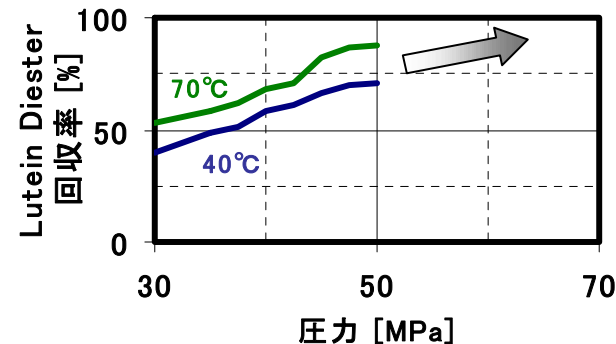


55℃以上の抽出温度で更に溶解度が向上すると考えられます



ルテイン 回収率

(乾燥マリーゴールド粉) (公表例)



機能 対象物	抽出/除去			含浸/付与			その他						
	抽出	除去/洗浄	乾燥	含浸	染色/色素 他	メッキ/成膜	微粒子	発泡/殺菌/その他					
食品	香料・色素 ホップ、ごま油	1 農薬 (玄米) 2 (人参エキス)	5 水分 6 (野菜)	ビタミン、精油 (食品粉末)	21		(脂肪粉)	41 殺菌 (オレンジジュース)	(*) 44				
	機能性成分(ノキリ ヤシ・アスタキサンチン)	3 コレステロール 4 (マヨネーズ)	 16	薬剤徐放性	(21)		ホ <sup>1</sup> リマー&無機粉体 複合化(リホ <sup>1</sup> ソム)	(*) 水素化反応 (41) (シクロヘキサ <sup>1</sup> ン)	45				
	 4	フーゼ <sup>1</sup> ル油 (発酵アルコール)	(*) 8	抗酸化物質 (インフラント材)	(22)		Cu SiO <sub>2</sub> (34)	(化粧粉末) (トナー帯電防止) (DDS医薬粉末)	42 重合 (49) 43 塗装	46			
		溶剤/VOC (活性炭フィルター) (潤滑油forHDD)	9 10	水 (無水アルコール)	(6)								
化粧品 医薬品・材	 11	(ワインコ <sup>1</sup> ル栓)	11 (漆遺物)	(7)	防腐・蟻 <sup>1</sup> 剤(木)	22	なめし <sup>1</sup> 剤(皮)	24	(ポリ <sup>1</sup> マー粉末)	その他検討例	(50)		
		モノ <sup>1</sup> マー/ダイマ <sup>1</sup> ー (樹脂ペ <sup>1</sup> レット) (医療用材料)	(3) 12	SiO <sub>2</sub> 、Ag他 (手術具) (レンズ)(コン <sup>1</sup> ホ <sup>1</sup> 材)	(23) (24) (25)	染料/色素 (フィルム・シ <sup>1</sup> ート) (ホ <sup>1</sup> リエステ <sup>1</sup> ル織	(*) 25	メッキ用触媒 (フィルム・シ <sup>1</sup> ート・ 成型品)	26 (33)	(43) 射出成型、発泡 (風力ブ <sup>1</sup> レード) (光反 <sup>1</sup> 射シ <sup>1</sup> ート)	(*) 47 48		
		汚れ(ク <sup>1</sup> リーニ <sup>1</sup> グ) 溶剤(多孔質膜)	13 (4)	機能性成分 (耐光安定 <sup>1</sup> 剤) (撥水)(疎 <sup>1</sup> 油) (導電性物質)	(26) (27) (28)	維 <sup>1</sup> (コ <sup>1</sup> ットン) (光ファイバ <sup>1</sup> ー)	(30) (31)	(通信・電 <sup>1</sup> 気線)	27	(ナノ <sup>1</sup> 粒子分散複 合材) (導電性微 <sup>1</sup> 粒子)	(44) (45)	(自動車部 <sup>1</sup> 品) (ホ <sup>1</sup> リマーア <sup>1</sup> ロイ) (グラ <sup>1</sup> フト重 <sup>1</sup> 合) (エ <sup>1</sup> レクトロ <sup>1</sup> スピ <sup>1</sup> ン <sup>1</sup> グ)	49 (51) (51) (52)
		無機物 金属 半導体 /MEMS	貴金属 (自動車触 <sup>1</sup> 媒) 放射性廃棄物	(1) ハイ <sup>1</sup> ンダー/有 <sup>1</sup> 機物 (セラ <sup>1</sup> ミック/触 <sup>1</sup> 媒)	(*) ゴ <sup>1</sup> ル・ゲ <sup>1</sup> ル液 (5) (エア <sup>1</sup> ロゲ <sup>1</sup> ル) (ホ <sup>1</sup> リマ <sup>1</sup> ーゲ <sup>1</sup> ル)	(*) 17 (8)	ホ <sup>1</sup> ール輸 <sup>1</sup> 送材 (太陽電池)	(29)	光増感 <sup>1</sup> 色素 (太陽電池)	(32)	電 <sup>1</sup> 気め <sup>1</sup> つき (Pd膜)	(34) (35)	ハ <sup>1</sup> ルスレー <sup>1</sup> ザー (シリ <sup>1</sup> コ <sup>1</sup> ンナ <sup>1</sup> 結 <sup>1</sup> 晶) (金ナ <sup>1</sup> ノ球) (ダイ <sup>1</sup> ヤモ <sup>1</sup> ント <sup>1</sup> イ <sup>1</sup> ト)
木材 ポリマ <sup>1</sup> ー /樹脂 繊維	 15	油分 (金属表面)	(*) 分散液 (ナノ <sup>1</sup> 粒子)	(9)	ホール輸 <sup>1</sup> 送材 (太陽電池)	(29), (32)	電 <sup>1</sup> 気め <sup>1</sup> つき (Pd膜)	(34) (35)	ハ <sup>1</sup> ルスレー <sup>1</sup> ザー (シリ <sup>1</sup> コ <sup>1</sup> ンナ <sup>1</sup> 結 <sup>1</sup> 晶) (金ナ <sup>1</sup> ノ球) (ダイ <sup>1</sup> ヤモ <sup>1</sup> ント <sup>1</sup> イ <sup>1</sup> ト)	(46) (47) (48)			
		エッ <sup>1</sup> チ <sup>1</sup> ング <sup>1</sup> 残 <sup>1</sup> 渣 (ウエ <sup>1</sup> ハ)	(*) 洗 <sup>1</sup> 浄 <sup>1</sup> 液 (MEM S,ウエ <sup>1</sup> ハ)	18	転写 (金属多 <sup>1</sup> 孔 <sup>1</sup> 体) 金属・絶 <sup>1</sup> 縁 <sup>1</sup> 薄 <sup>1</sup> 膜 (ウエ <sup>1</sup> ハ)	(*) (36) (37) (38)							
		放射 <sup>1</sup> 性廃 <sup>1</sup> 棄物	(2)										

注記: 太青字は、実用/工業化されたもの、( )内は対象物を示す。数字は実用化/技術開発完了技術を、( )内数字は開発中の技術(当社評価)で、当社WEBに示す参考文献の番号で、2014年現在で一部見直したものです。(※)は、(株)テクノシステム発行「超臨界CO<sub>2</sub>」に掲載。上記は弊社技術と調査結果に基づくが、情報が最新でない場合もあり、写真はイメージです。

5. SCF無洗米

3. 機能性成分  
クルクミン抽出

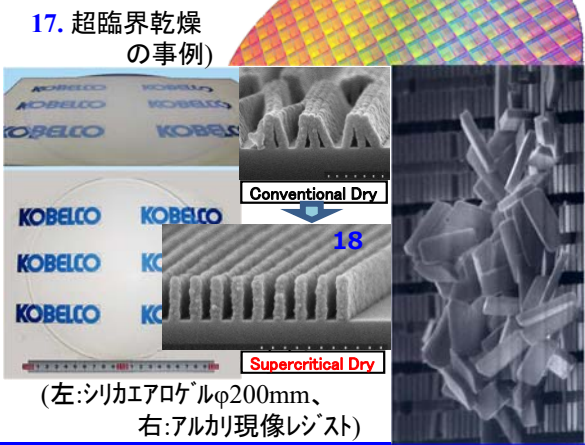
7. コレステロール  
除去 from  
マヨネーズ



17. 超臨界乾燥  
の事例)

18. 超臨界乾燥

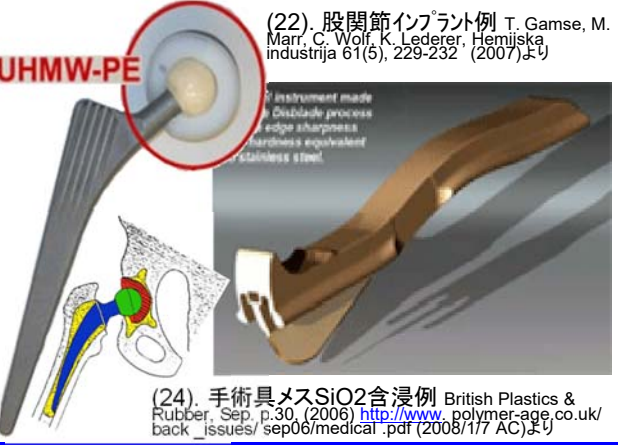
(左:シリカエアロゲルφ200mm、  
右:アルカリ現像レジスト)



UHMW-PE


(22). 股関節インプラント例 T. Gamse, M. Mar, C. Wolf, K. Lederer, Hemjska industrija 61(5), 229-232 (2007)より

(24). 手術具メスSiO<sub>2</sub>含浸例 British Plastics & Rubber, Sep. p.30, (2006) [http://www.polymer-age.co.uk/back\\_issues/sep06/medical.pdf](http://www.polymer-age.co.uk/back_issues/sep06/medical.pdf) (2008/1/7 AC)より



25. 超臨界CO<sub>2</sub>染色試験装置

(@デルフト工科大学,2007年10月)





- 高圧装置では特に重要な、**高スループット** (短時間化→コンパクトな装置)、**低ランニングコスト** を可能とするプロセス・装置の構築。

開発時課題解決に基づく  
プロセスレビュー

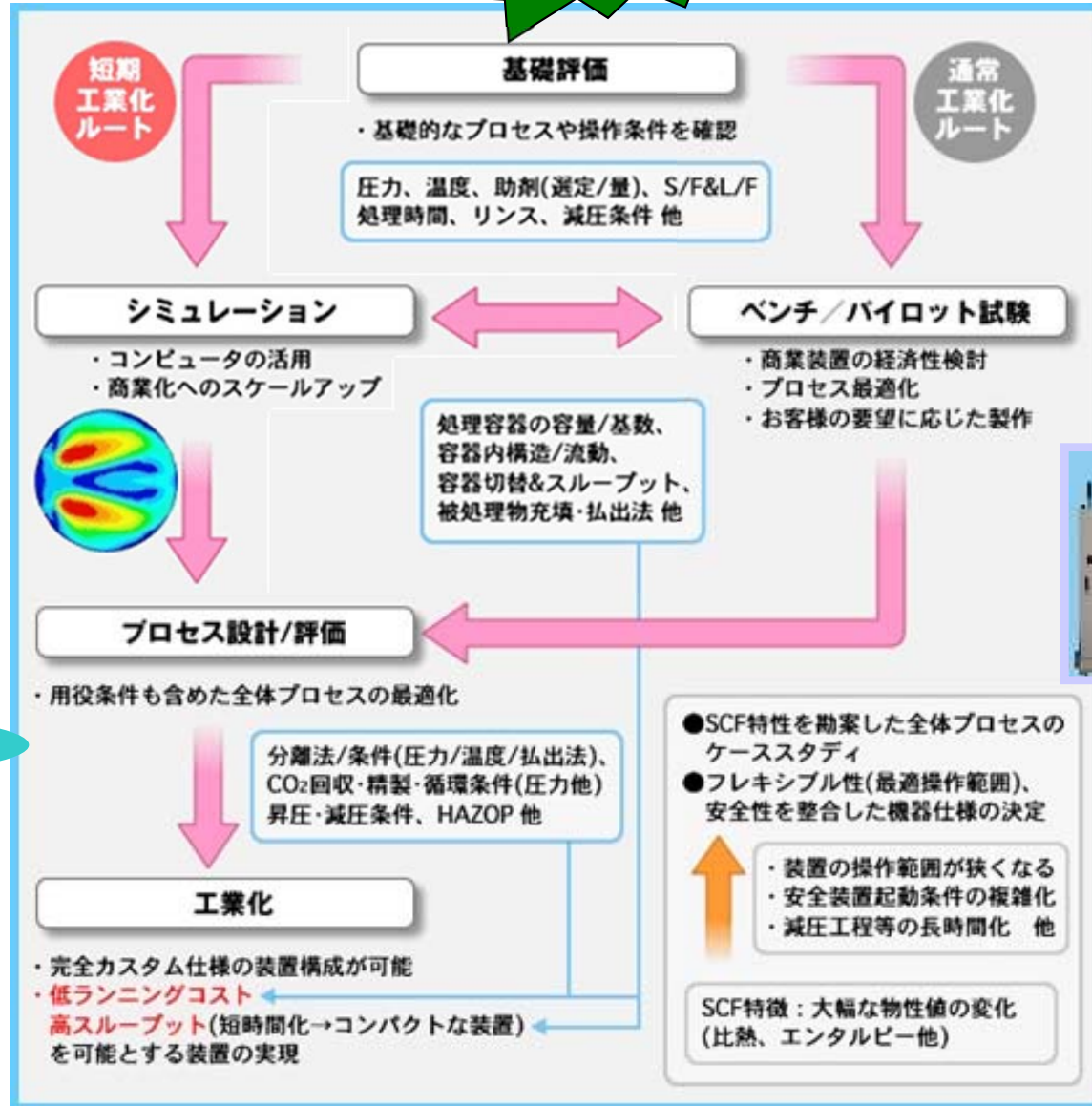


小型試験装置例  
(高温槽利用)  
(小サンプルでの  
評価、条件探索)  
(写真:エアロゲル)

- 物性値の大幅な変化にも対応した**フレキシブル** で且つ **安全性** を重視した装置の構築。**HAZOP**の実施。  
**HAZOP** : **H**azard and **O**perability、1970代から用いられているプロセス危険解析手法の標準

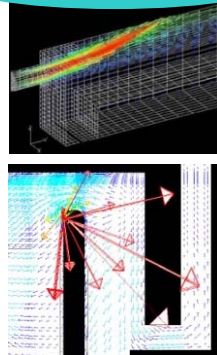
- 開発課題に基づく、**律速段階の把握**と共にそれに基づく**経済性検討 (Feasibility Study)** の実施。

- コンピュータを活用し短期間でより効率的な工業化、大規模スケールアップの実現



ベンチ規模  
試験装置例  
(中サンプルでの  
評価、スケール  
アップデータ  
等の採集用)

シミュレーションの活用



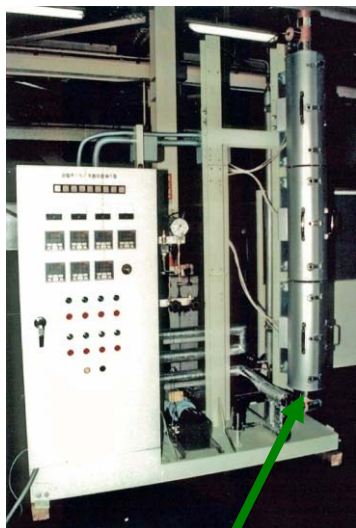
工業規模装置例  
(シリーズ運転による最適化)

■ 高圧とその周辺技術を活用し、環境・効率化ニーズを満たす新規工業化技術の実現

ベンチ規模試験 ⇒ 商業装置の実現 (約3,000倍Scale-up)

基礎検討(3ヶ月)→開発(1年)→商業機:設計・製作・据付(11ヶ月)→試運転(2ヶ月):

2年4ヶ月で顧客ニーズの実用化を実現



開発用反応器



商業反応器



超臨界水ケカルリサイクルプラント  
(化学工学会技術賞受賞 2001.4)

## 1. プロセス技術

- 超臨界水利用技術 (高圧・高温物性/特性)
- 分析、評価技術 (残渣・製品中の微粒不純物の挙動把握)
- 分離・精製技術 (反応生成物の高純度化精製)
- 腐食・防食技術 (高温水下での塩素含有流体への対応)

## 2. 工業化・スケールアップ技術

- 流動シミュレーション技術 (高圧・高温下での2相流混合反応)
- プロセスシミュレーション技術 (廃棄物中不純物挙動を考慮した製品純度設計)
- エンジニアリング技術 (高粘度・高圧高温機器・機種選定、最適機器設計)

超臨界水ケカルリサイクルプラントは、  
超臨界水を用いた有機廃棄物のリサイクルを実現し、  
環境・効率化に大きく貢献しています。  
本プラントは、超臨界水を用いた有機廃棄物のリサイクルを実現し、  
環境・効率化に大きく貢献しています。

世界初の商業プラント稼働



卓上の超小型試験装置よりも大きな装置の導入時には、超臨界流体の特徴を踏まえた **プロセス・装置仕様** の設定が重要です。

超臨界流体は、右図に示すように、**物性が大きく変化**することが大きな特徴で、それを生かすことが重要です。しかしながら、超臨界流体の装置設計者、機械設計者が、その特徴を理解していない例を多く見聞します。

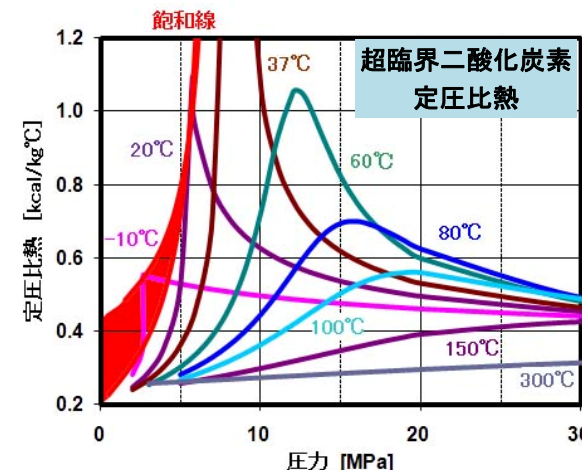
- 理由：
- ・装置設計者自らが装置を長時間運転した経験がない。
  - ・装置ユーザーはその特徴を理解しているが、装置設計への反映には不案内。特に、開発初期の場合は、それが、顕著である。



**物性変化の影響を装置設計にフィードバックできない**

・国内利用の場合、超臨界CO<sub>2</sub>装置は高圧ガス保安法が適用されます。このため、少なくとも、装置自体は都道府県庁への届出・許可が必要なため、安全性が確保された装置になっています。最低限の運転は当然可能なので、これが装置、超臨界流体の限界と勘違い、本来の特徴を生かしきれずに開発が断念される例を多く見聞します。

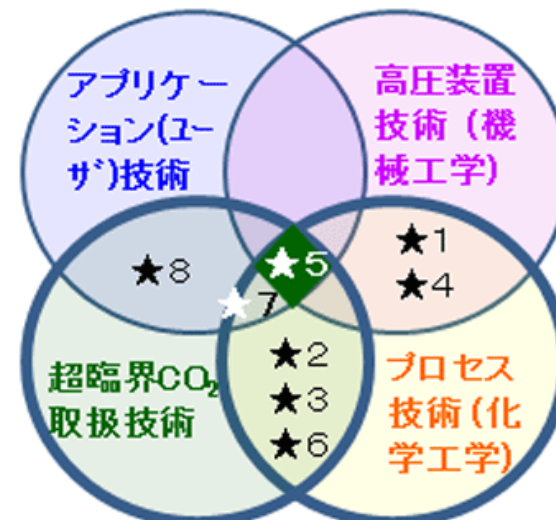
高圧ガス保安法等に規定の設計のみでは、「**想定外**」の事象が起こるケースもあります ! ... 「法は最低限の決まり！」です。



超臨界流体は、圧力と温度で物性値が大きく変化する事が特徴のため、**機械設計・製作の知見** (高圧装置技術/機械工学) だけでは満足な運転ができず、装置製作メーカーに「**想定外**」でしたと言われかねません !

化学プラントの設計では、エンジニアリング会社などが危険リスクも含めた**HAZOP\***含めた**各種プロセス検討**(プロセス技術/化学工学) を行います。超臨界装置も同様な検討が必須ですが、**化学プラント設計での常識**が、**機械メーカー**ではその必要性・存在も知らないケースがあります。この結果、大型装置が「**想定外**」との理由で満足に稼働していない事例が、国内に沢山存在します。

超臨界流体装置の導入を検討される場合には、次の項目を最低限、装置メーカーに再確認し、「**想定外**」と言われないようにする必要があります。



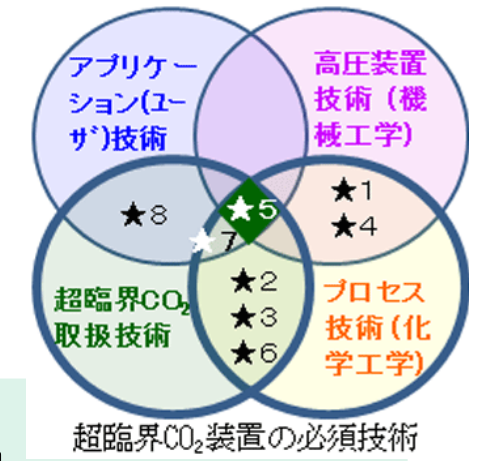
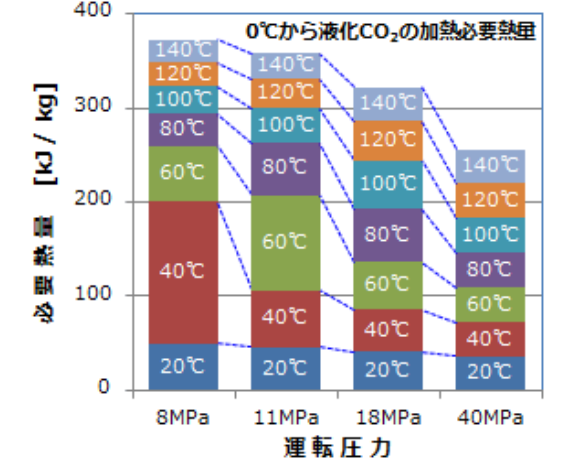
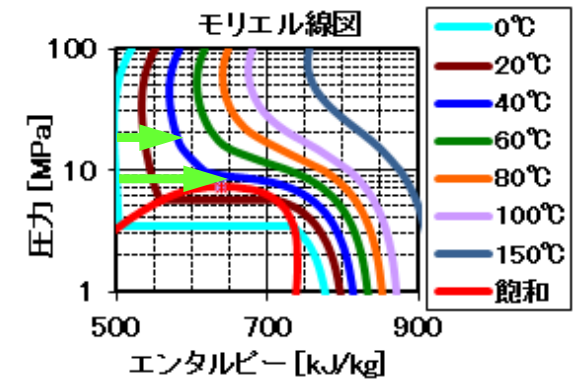
超臨界CO<sub>2</sub>装置の必須技術

HAZOP : Hazard and Operability、1970代から用いられているプロセス危険解析手法の標準



導入時の**ミニマム確認ポイント**は、以下の通りです。特に、開発用装置はその運転範囲等が当初予定とは異なる条件に変更になる場合が多いためです。  
(以下の項目は、プロセス的重要項目では必ずしもないが、超臨界流体設計時に必要な基本要件です。)

- ★1: 安全弁・安全装置は、高圧ガス保安法の規定条件以外も考慮しているか ?  
【装置の安全に係わる最重要事項です!】 (規定吹出し量は安全弁メーカーにて計算)  
液化ガスの性質 (法規定) とプロセスを踏まえた条件検討が必要  
(規定吹出し量は県庁提出するが、最も重要な所要吹出し量の計算書は提出しない例が多く、未検証になりがち。)
- ★2: 熱交換器は、運転最大圧力・最大温度以外の条件も考慮しているか ?  
【他の条件で満足な運転ができません!】 (想定される運転範囲に応じた装置仕様決定が必須)  
高圧・高温で運転できる条件でも、低圧・低温では、運転できません。
- ★3: 圧力制御弁は、超臨界流体の特性を考慮して選定されているか ?  
【安定した圧力制御、減圧ができません!】 (プロセス条件理解なしにCv選定、運転は可能だが、減圧時間長過ぎ、経済性成立しない等の例を聞きます)  
制御弁専門メーカーでも、超臨界流体のCv値計算法・式は統一されていません。
- ★4: 二酸化炭素の昇圧ポンプは、「加速度抵抗」を考慮して設計しているか ?  
【所定の流量がでない場合があります!】  
液化ガス昇圧往復動ポンプは、加速度抵抗で能力不足になるケースがあります
- ★5: 実用化・工業装置の経済性を考慮したプロセス検討・設計をしているか ?  
【研究・開発が成功しても実用化しない場合があります!】
- ★6: 減圧工程含めた最適スループット(処理時間)を考慮した設計か ?  
【減圧時間が経済性を大きく左右する場合があります!】 (減圧時間を短くする方法の例(参考): 神戸製鋼Gr公開特許2010-174,071他)
- ★7: 実験室から工業化へのステップに示すプロセス設計が全てされているか ?  
【運転はできるが、実用化しない場合があります!】
- ★8: アプリケーションに最適な超臨界条件が選択されているか ?  
【実現性が低下します!!】 例: 溶解度が10倍変化! Ex: 0.2wt% @ 20MPa → 22wt% @ 77MPa  
界面張力フリーな超臨界CO<sub>2</sub>で、割れ・収縮が起こる! 物質移動には時間項の考慮が必要!



超臨界CO<sub>2</sub>装置の必須技術

● 超臨界CO<sub>2</sub>は圧力・温度の変化でその物性の制御が可能である事が大きな特徴！

- 温度一定の条件下では、圧力の上昇に伴って密度や粘度は徐々に大きくなる！
- 比熱、エンタルピーは臨界圧から～20MPa、特異な変化、僅かな変化で大きく変動！

例： 圧力8.5MPa一定条件下での 定圧比熱

- ① 37℃ 18 kJ/kg·K
- ② 50℃、60℃ 3.0 kJ/kg·K、2.1kJ/kg·K → 1/6以下に低下！

温度60℃におけるエンタルピー

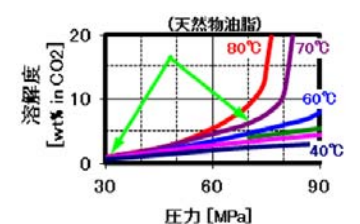
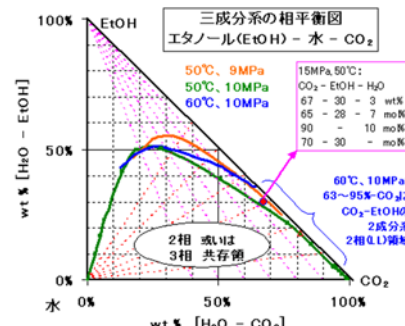
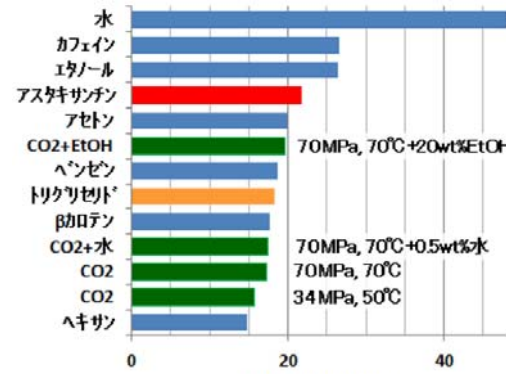
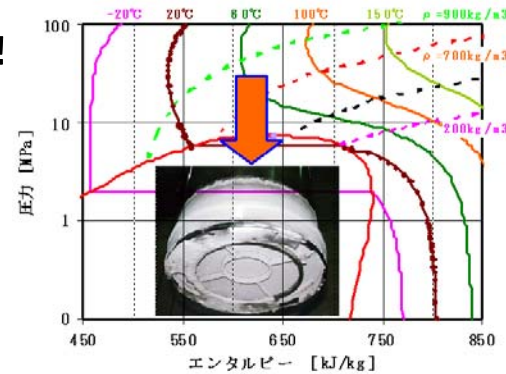
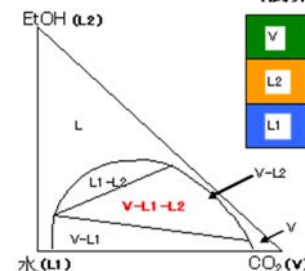
- ① 20MPa 628 kJ/kg
- ② 10MPa 728 kJ/kg

→ 高压であるほど、昇温に必要なエネルギーが少なくてよい！  
 高压では処理できるが低压にすると所定の温度での処理ができない  
 逆に高压にすると減圧に予想以上の時間がかかる  
 減圧時にドライアイスが容器内で発生し容器が破損する！

● 超臨界CO<sub>2</sub>の比誘電率は1.1～1.6、溶解度パラメータは4～20MPa<sup>1/2</sup>程度で無極性な流体であるため、水などの極性流体をほとんど溶解しない！

- 温度・圧力条件の変更
- 極性を有する助剤(エントレーナ)の添加で、極性を付与！

例： 極性の付与で、極性物質の溶解度を増やすことが可能。  
 水は常温付近では超臨界CO<sub>2</sub>にコンマ数%しか溶解しないが、アルコールをエントレーナとして加えると数十%の水を溶解させることができる。



処理費用などの経済性を検討時には、以下の観点での最適化の検討が必要！

- ① 処理の律速段階に応じた圧力・温度の選定 (高压の選定で助剤不使用な例もある)
- ② 圧力・温度で処理速度不足の場合は助剤の選定 (溶解度律速であれば良溶媒を選定)
- ③ CO<sub>2</sub>の回収・精製のし易さ (CO<sub>2</sub>に溶解しやすいものは逆に精製しにくい)
- ④ 可燃／爆発性・有害性 (CO<sub>2</sub>は非防爆で安全な流体、助剤使用の優劣)



● プロセスの経済性、処理費用は、以下の項目により、大きく影響 ！

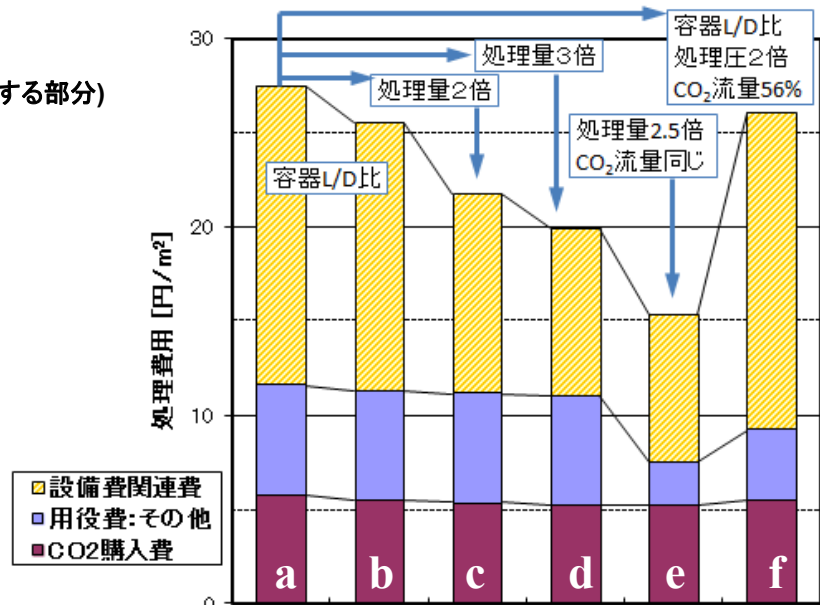
- ① 設備投資関連費 (設備投資、保守費、運転消耗品、税・保険用等も含めた設備投資額に比例する部分)
- ② 用役費、その他費用 (ユーティリティ費、運転・保全労務、工場管理費他)
- ③ CO<sub>2</sub>購入費 (バッチ運転容器開放時補充分)

● 設備投資額は、以下の項目により、大きく影響 ！

- ① 処理容器のサイズ (被処理物の処理量、処理容器の長さ/内径比(L/D))
- ② CO<sub>2</sub>流量 (CO<sub>2</sub>を昇圧・昇温して供給、回収・精製する循環系)

例えば：処理時間を短くするためにCO<sub>2</sub>流量を増やすと

- ・ 処理容器の価格は、低下
- ・ CO<sub>2</sub>循環系の設備価格 + 用役費(ユーティリティ費)は、増加 ！



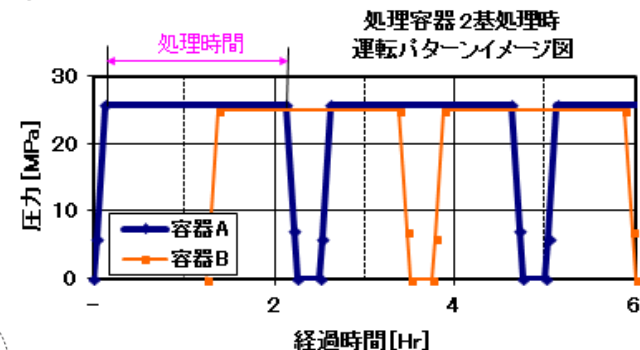
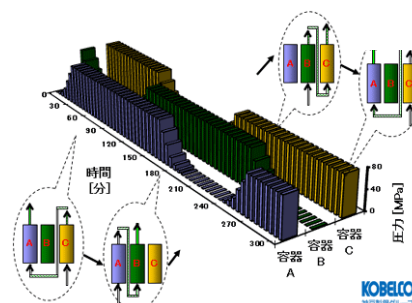
## 処理における律速段階の把握

プロセス経済性は、被処理物の充填、昇圧・昇温、処理(含浸/抽出/乾燥など)、リンス(助剤排出)、減圧、被処理物の取り出しなどの各工程の内、どの工程が律速段階かを踏まえた上での最適な工程時間の割り振りに大きく左右されます ！

例えば：

“エアロゲル”や“機能性成分を含有した植物原料”などの多孔体の処理の律速段階：

- ① 超臨界CO<sub>2</sub>に対する成分の溶解過程
- ② 成分の多孔体内の拡散(移動)過程
  - a) 総括物質移動係数 (超臨界CO<sub>2</sub>側の境膜物質移動係数等の処理条件(圧力・温度・流量他)に依存)
  - b) ドライビングフォース (抽出対象物の飽和濃度と境膜での濃度差)



➡ 超臨界CO<sub>2</sub>の供給流量などを決定 ！

右図に示すように、境膜物質移動係数は、超臨界状態では動粘度が小さく自然対流の影響が顕著となるような低レイルス数領域では超臨界CO<sub>2</sub>の流量が顕著に増加しても、僅かしか増加しない。また、抽出速度を決定する総括物質移動係数は、超臨界CO<sub>2</sub>側の境膜物質移動係数と多孔体の内部境膜物質移動係数の逆数との逆数によって計算される。このため、両境膜物質移動速度の適切な配分設計、即ち適切な超臨界CO<sub>2</sub>流量設定によって効率的な処理が可能となり、その結果、経済性が大きく改善される。

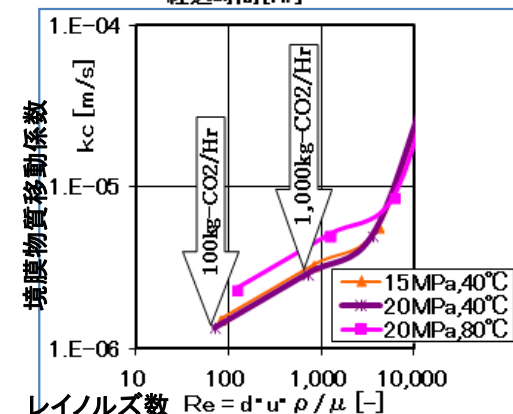
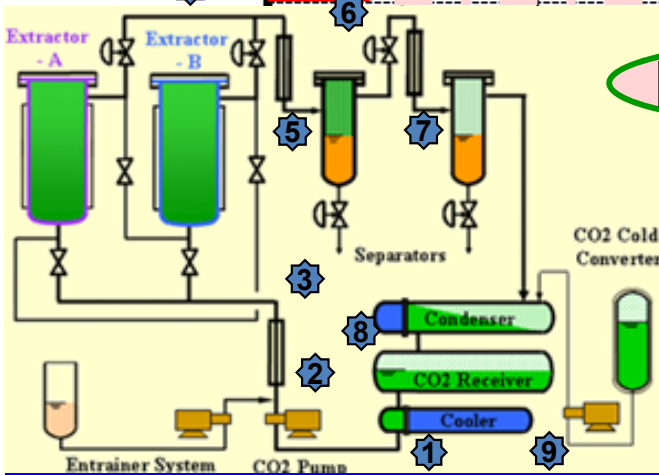
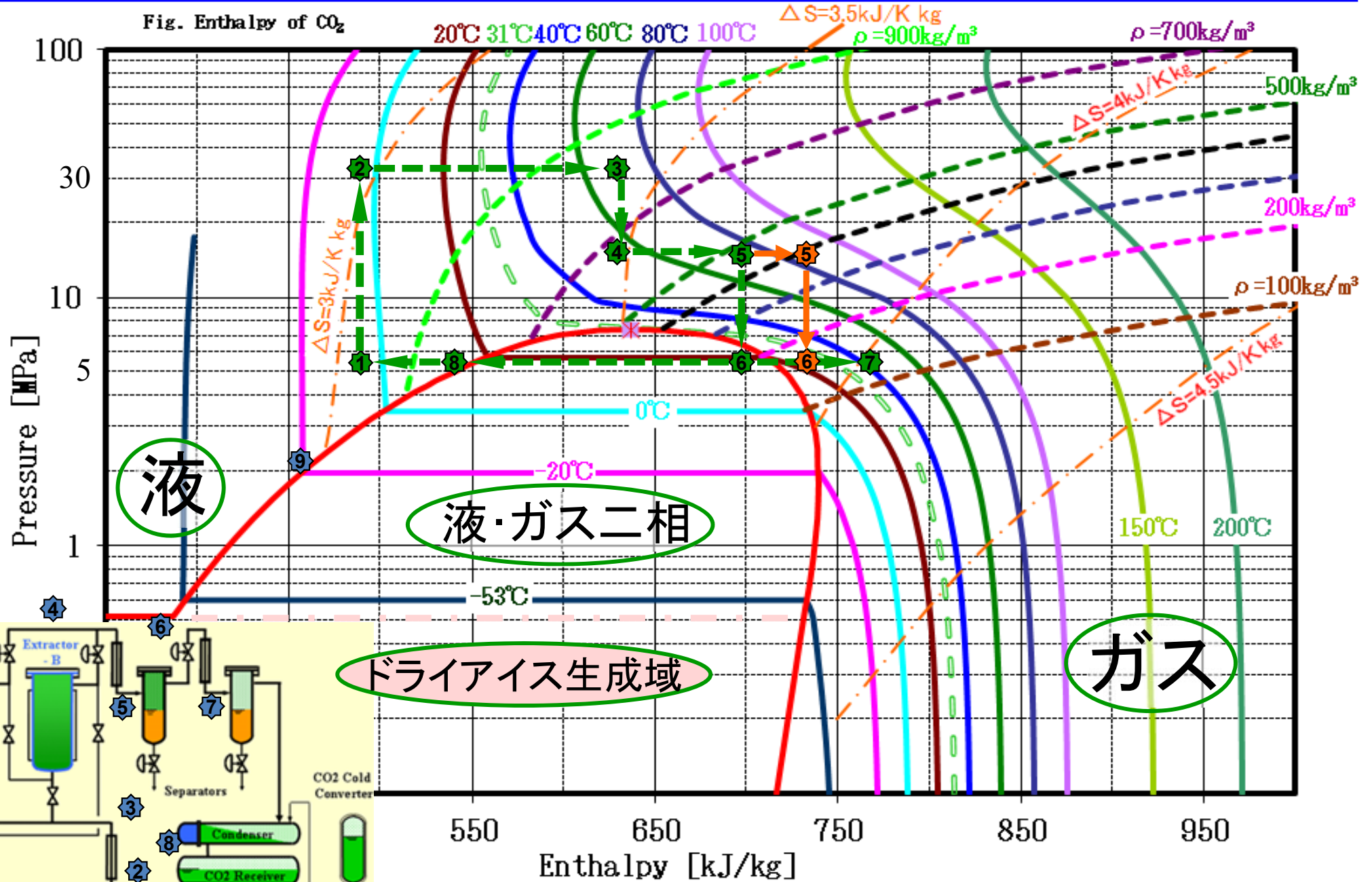


Fig. Enthalpy of CO<sub>2</sub>





ご質問や委託試験、コンサルティングのお問合せは、神鋼エアテックの超臨界WEB ページをお願いします。 <http://www.SCCO2.jp/>

## 超臨界CO<sub>2</sub> - LIVE配信 セミナーの案内 通算11回目！

2023年3月2日(木曜) 13時30分 ~ 16時30分

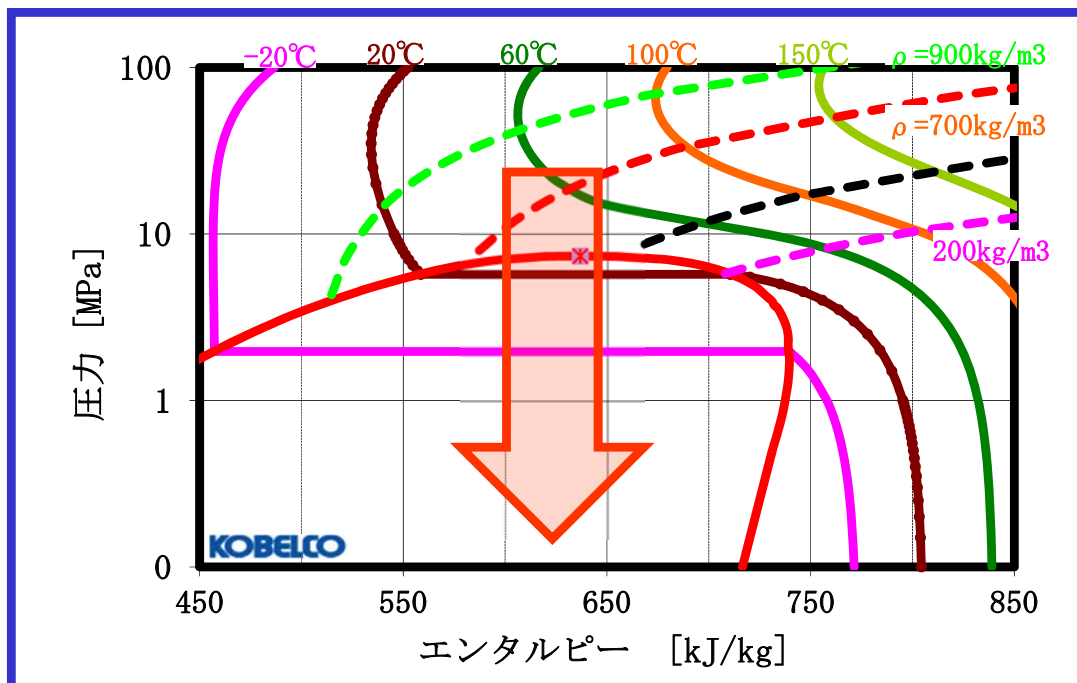
[ ZOOM オンラインセミナー ]

「**食材・生体適合材から太陽電池・半導体分野などでの高機能素材の創出手段**」  
と称してオンラインセミナー(有料)を開催します。

ご興味ある方は、講師割引を送付しますので、上記よりご連絡ください。

タイトル：**超臨界二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と工業的利用**

～ 基礎から適用技術の実際まで～ **何ができ、何が必要か？**



失敗事例

ドライアイス  
発生！



## 会社概要

社名 : 神鋼エアテック株式会社

所在地 : 〒657-0837 兵庫県神戸市灘区原田通二丁目3-16

設立 : 1987年4月24日

資本金 : 90,000千円

株主 : 株式会社神戸製鋼所 (全額出資)

〈神戸製鋼グループのガス取扱い専門会社〉

資源は無量大 (N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、Ar)  
神鋼エアテック(株)は自然界のガスの使用法を提案します

事業所所在地: 本社 : 〒657-0837 兵庫県神戸市灘区原田通二丁目3-16

TEL: 078-261-6550、FAX: 078-261-6553

E-mail: [sat-kobe@kobelco.com](mailto:sat-kobe@kobelco.com)

関東営業所 : 〒251-8551 藤沢市宮前100-1

((株)神戸製鋼所 藤沢事業所内)

TEL: 0466-20-3305、FAX: 0466-20-3428

コスト低減

### オンサイト方式によるガス(窒素)の販売

- L&M方式・LOM方式(リース/オペレーション/メンテナンス)
- バックアップ(液体窒素)供給

### 窒素・酸素発生装置の販売

- 定期点検・修理等のメンテナンスサービスの実施
- 工業ガス関連設備・配管工事等の実施

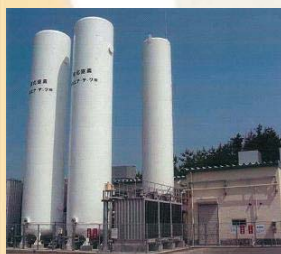
工業用

### 液ガスおよび化成品等の販売

- ・ 深冷式分離装置
- ・ PSA式発生装置

- ・ 各種(PSA式・膜分離式)装置  
神戸製鋼製汎用スクリュコンプレッサ対応モデル
- ・ 酸素(PSA式)発生装置も品揃え

- ・ 工業ガス(酸素・窒素・アルゴン・炭酸ガス・水素・ヘリウム・LPガス)
- ・ 化成品(酸・アルカリ)、プロパン・灯油他



オンサイト  
窒素ガス供給  
(深冷分離装置)



SAT CN-eco4-20  
窒素ガス発生装置



Kobelon VS175AD  
コンプレッサ(圧縮機)

CNタイプ  
(小型Eシリーズ)



チツソメイト  
ミニ  
(SN-miniシリーズ)

(ポンベダッシュ)  
膜式  
窒素ガス  
発生装置

