

DME混合によるLPガスの低炭素化

一般社団法人DME協会

レンファッド株式会社

内 容

- 日本DME協会の紹介
- 燃料DMEの特徴と利用技術開発成果
 - LPガスとの混合利用(家庭、業務用)
 - DME単味での利用(ボイラー、発電、ディーゼル車)
- スラリー床DME直接合成プロセスの特徴と開発成果
- バイオマスを原料としたDME製造の経済性
- 回収CO₂と再生可能水素からのDME製造の経済性
- まとめ

一般社団法人日本DME協会

- ・活動：国際DME協会(IDA)、アジア地域のDME普及推進団体などとの国際連携を推進し、海外動向の把握を図る。また、国内におけるDME利用の基盤を検討し、シンポジウムなどを通し情報発信、中長期視点からDME普及を図る。 2019年度より、低炭素化に貢献するDME研究会活動を継続中。
- ・法人・団体会員(15社)： いすゞ中央研究所、岩谷産業、ENEOSグローブ、国際石油開発帝石、商船三井、千代田化工建設、日揮、日本ガス開発、トキコシステムソリューションズ、トタルインターナショナル、日本LPガス協会ニヤクコーポレーション、三菱ガス化学、三菱重工エンジニアリング、三菱日立パワーシステムズ
- ・個人会員(12名)



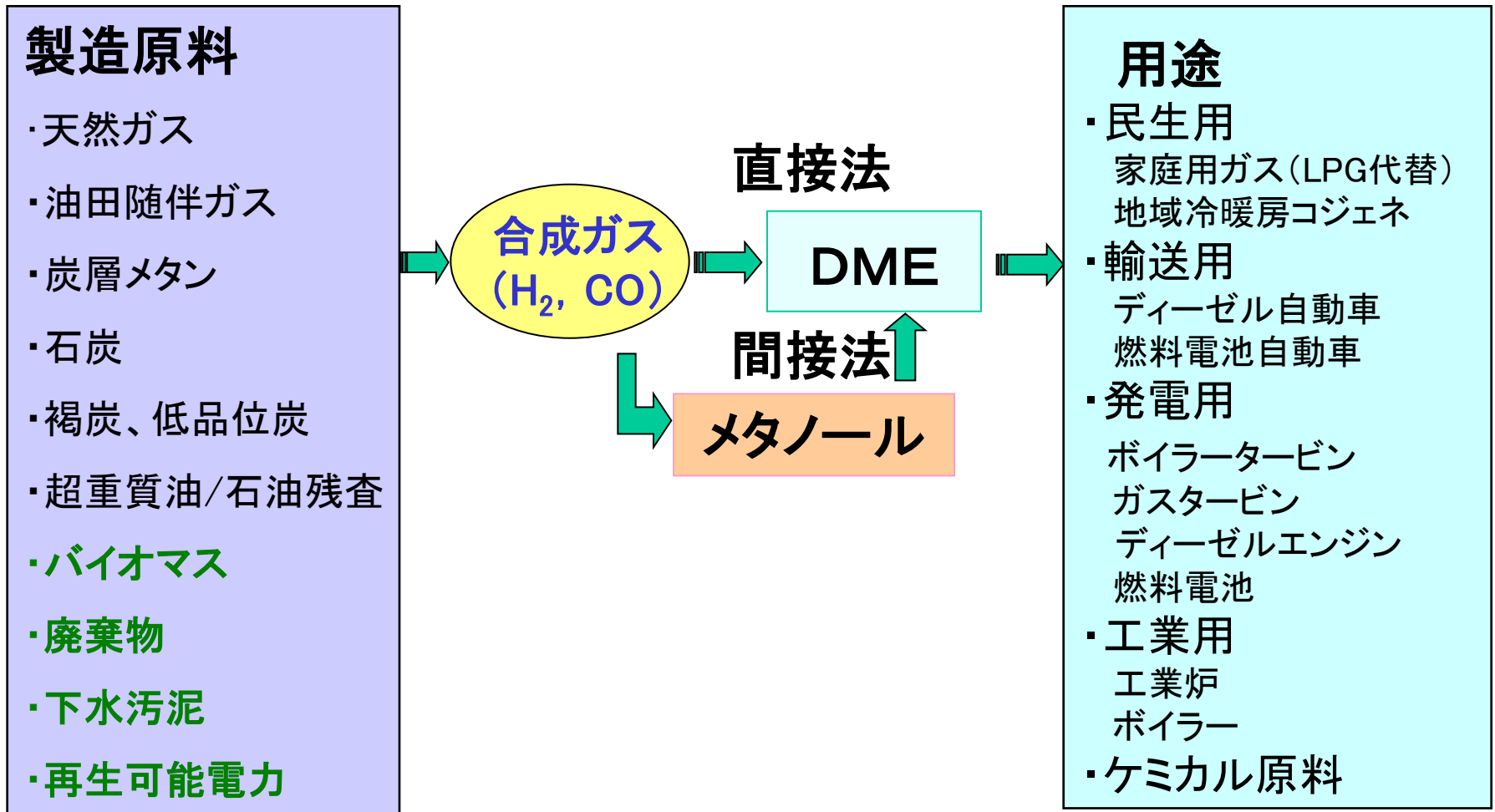
燃料としてのDME(Dimethyl Ether)の特徴

- -25°C または約6気圧で液化し、LPGと同様に貯蔵・運搬可能
- LPGによく溶け、10%程度までは、LPG機器をそのまま利用できる
- 健康影響、安全性はLPGと同程度、燃焼時に煤を発生しない
- 天然ガスと同等のガス燃料特性(ウォッベ指数)、天然ガス用機器が利用可能
- セタン価が高く、ディーゼルエンジン燃料に適している
- 低温(350°C 程度)で改質(水素製造)が可能
- 他の燃料に比べ、重量あたりの熱量が低いが、燃料輸送に重要な容積あたりの熱量は高い
- 金属は腐食しないが、ゴム類には膨潤するものがあり、シール材の変更が必要
- 大気中で数10時間で分解するので、温室効果、オゾン層破壊の問題は極めて小さい



天然ガス DME プロパン

多様な原料から製造でき、幅広い用途で利用可能



日本におけるDME燃料利用に向けた各種取り組みの経緯

1990年から2010年代にかけてLPガス輸入における中東依存率が高まり（2007年：91%）、需給バランス以外の市況要因や国際情勢により価格変動するリスク、並びに供給リスクが高まり、**エネルギーセキュリティの観点から我が国の燃料構造の多様化を進める必要性が生じた。**この為経済産業省指導の下、中東に依存しない石炭あるいは未利用の中小ガス田でLPGに混和性があるDMEを開発する可能性検討が始まり、DMEについて利用技術、用途開発等の各種研究開発が進められた。

エネルギー基本計画抜粋（平成19年3月閣議決定）

第1章第1節 安定供給の確保：ほぼ100%を石油に依存する運輸部門については、**燃料の多様化を図る。**

第2章第3節 多様なエネルギーの開発、導入及び利用

3. 運輸部門のエネルギー多様化の推進

DME等の運輸部門での利用については、経済性の確保に留意しつつ専用車の開発等の課題に取り組む必要があり、こうした取組を引き続き促進する。

5. ガス体エネルギーの導入及び利用

DMEは、短期的には、産業部門を中心にLPガスを補完するものとして利用拡大を目指すことが重要であるため、DME利用設備の導入促進等を行う。

第3章第2節 重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策

5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術における重点的施策
ガス体エネルギーに関する技術のうち、GTL及びDMEについては、その製造・利用等を促進するため、製造コストの低減、利用機器の開発等の研究開発を実施する。

実施されたDMEに関する研究開発の例

- | | |
|------------------------------------|-----------------------|
| ① LPガスのDME混合利用に関する調査研究（平成17～19年） | ⑤ DME製造技術開発（平成15～18年） |
| ② LPガスインフラのDME転用に関する調査研究（平成14～16年） | ⑥ DMEの安全性研究（平成14～16年） |
| ③ クリーンディーゼルDMEトラックの開発（平成13～23年） | |
| ④ 発電用、ボイラー用、コージェネ用等、用途開発（平成13～18年） | |

LPガスのDME混合利用に関する調査研究の概要

1 家庭業務用機器のDME混合LPガス燃料に対する適合性評価

- (1)既存のLPガス仕様の家庭業務用消費機器（コンロ、ストーブ、給湯器等）に改造を加えないで、燃焼可能なDME濃度を求める試験。
- (2)DME濃度増加のための軽微な改造、部分改造を施した機器での燃焼実験
- (3)容器内混合液の気化特性試験：蒸気圧が異なるLPガス、DME混合液を自然気化供給した場合の気相中の濃度変化を液充填時から95%気化まで測定
- (4)容器への繰返し充填によるDME濃度の濃縮調査
- (5)一般家庭でのDME混合LPガス燃料の実使用（フィールド）調査

以上の各試験の結果、家庭業務用消費機器に改造を加えない場合のDME混合率上限は10w t %の結果が得られた。軽微な改造を行った場合の混合率上限は25w t %であった。

2 LPガスエンジンのDME混合LPガス燃料に対する適合性評価

- (1)既存LPガス仕様の業務用GHP等で用いられるLPガスエンジンを変更無しの場合、DME混合率は10w t %まで、正常に運転できることが確認された。
- (2)エンジン制御の変更（点火時期、空気過剰率）、並びに一部改造（リーンバーンセンサーの適用、EGRの追加）によりDME混合率上限を30～40w t %までアップできる可能性がある。

3 LPガスボイラーのDME混合LPガス燃料に対する適合性評価

- (1)LPガス仕様のボイラーで、LPガスとDMEの混合濃度を種々調整し、ボイラーの空気ダンパーを適切に調整し燃焼実験を行った結果、DME濃度を最大50w t %混合しても、排ガス温度、ボイラー効率、CO濃度、NO_x濃度、フレイム電圧等の測定値は正常範囲であり、燃焼性、着火性に問題は無い。
- (2)DME 50w t %混合LPガス燃料でボイラーの耐久試験を1年間にわたって実施した結果、各部に異常は無く、排ガス分析値も適正範囲内であった。

LPガスインフラのDME転用可能性に関する調査研究

目的：DMEを燃料として実用化を図るための基盤整備として、LPガスインフラを使用して、DMEの貯蔵、輸送、供給に係る転用可能性を検証する。

1 転用の可能性調査

供給インフラ主要部である外航船、輸入基地、内航船、タンクローリの転用について、法規上の課題、部分的な改造を要する場合の内容、コスト試算、課題検討が行われた。タンクローリを除いて、部分的改造により転用は可。

2 主要装置・機器の実証試験設備における転用可能性調査

供給インフラにおける主要装置・機器について、改造、評価試験等により転用可否を調査

インフラ主要装置・機器の転用可能調査結果

装置・機器名	改造、評価試験の内容	転用可否
貯 槽	附属バルブのシール部ゴム材料NBRをテフロンに変更	可
ローディングアーム	スィベルジョイント、Y型弁シール部ゴム材料NBRをテフロンに変更、2000時間連続運転試験	可
液送ポンプ {遠心式、 キャンدمータ型}	シール用OリングNBRをクロロプレンゴム、PTFE、パーフロロエラストマーのいずれかに変更、約1000時間連続運転試験	可
コンプレッサー	シール用OリングをPTFE、又はパーフロロエラストマーに変更 1500～1900時間作動試験	可
ベーパライザ {蒸気式、空温式}	弁の要部をPTFEに変更、380～463時間連続運転試験	可
ディスペンサー	弁類シール部ゴム材：フッ素ゴムをHNBR、PTFE又はパーフロに変更 ホース：SUSフレキシブルチューブor内層ポリアミドホースに変更	可
容器充填機	性能評価試験を行った結果、DMEはプロパンに対し充填速度が20～30%早くなった。	可

DME燃料等の規格化 及び DME燃料の安全性に関する研究

(1) DME燃料のISO規格化

DME燃料のISO規格化を、日本が中心メンバーとして進めた結果、以下のISO規格が制定された。

ISO16861:2015, エンドユーザ出荷段階のDME燃料品質(右記)

ISO17198:2014, DME燃料分析方法 硫黄分紫外蛍光法

ISO17786:2015, 同 蒸発残渣分析方法

ISO17197:2014, 同 水分カールフィッシャー分析法

ISO17196:2014, 同 不純物ガスクロマトグラフィ分析方法

(2) DME自動車のISO規格化

DME自動車に関するISO規格化が現在進められている。

ISO21058 充填コネクタ(加圧充填型)

ISO22760-1 DME自動車燃料システム機器の要件と定義

ISO22760-2 DME自動車燃料システム機器の性能と試験方法

上記規格化完了、日本提案の充填コネクタ(均圧充填型)審議中

項目	単位	基準値
DME純度	質量%	98.5以上
メタノール	質量%	0.050以下
水分	質量%	0.030以下
炭化水素(C ₄ 以下)	質量%	1.00 * 以下
CO ₂	質量%	0.10以下
CO	質量%	0.010以下
ギ酸メチル	質量%	0.050以下
エチルメチルエーテル	質量%	0.20以下
蒸発残渣	質量%	0.0070以下
全硫黄	mg/kg	3.0以下

* 流通過程でLPガスのインフラを流用、転用した場合

(3) DME燃料の安全性に関する研究

DMEを燃料として大量に利用する際の、貯蔵、輸送、使用等、取扱い時の安全性、及び保安に関し各種の調査、研究が実施された。

安定性

- ・経時安定性
- ・混触の危険性
- ・金属材料への影響
- ・ハイドレート

火災・爆発

- ・拡散性と危険距離
- ・プール火災実験
- ・外部火災時の安全性
- ・爆発威力、爆発特性

保安

- ・リスクアセスメント
- ・漏えい検知技術
- ・着臭剤の検討
- ・消火技術の検討

・DMEは、既存燃料に比べて際立って危険性が高い要素はなく、概ね既存ガス燃料のLPガス、メタンと同程度の危険性であることが分かった。

・一般的なゴム材はDMEにより膨潤するので、耐DME性ゴム材を使用する必要がある。

・安全対策策定に必要な基本的なDMEの安全性に関する試験データが得られた。

工業用ボイラー燃料としてのDME利用

・経産省の「DME燃料利用設備導入促進補助事業」の一環として、2種の既存ボイラーにおいて、バーナー、燃料供給系がDME用に改造され、実証試験が行われ、その後商用利用された。

- ・小型貫流ボイラー(一正蒲鉾)

LPガス仕様から転換(三浦工業製)

蒸発能力: 2t/hr

熱効率: 96%、LPガス炊きと同等

DME 消費量: 1000t/年

運転開始: 2009年



- ・小型炉筒円環ボイラー(佐藤食品)

A重油仕様から転換(IHI製)

蒸発能力: 4t/hr

熱効率: 92%、重油炊き(85-88%)より向上

DME 消費量: 700t/年

運転開始: 20011年



DME利用ガスタービン発電技術の実証

- 米国GE、日本の三菱重工、日立、川崎重工各社は、DME 焚きガスタービン燃焼器の試験を行い、ガスタービンの設計が可能としている。
- 東京電力、三菱化学、JFE は、天然ガス焚き 4 Mwガスタービンを、改造無しで、DMEで運転試験（2005-2007年）。
スタートアップ、負荷変化は、天然ガスと同様にスムーズで、出力および排気ガス特性も天然ガス焚き期間と同様であった。

DME受け入れタンクと気化器



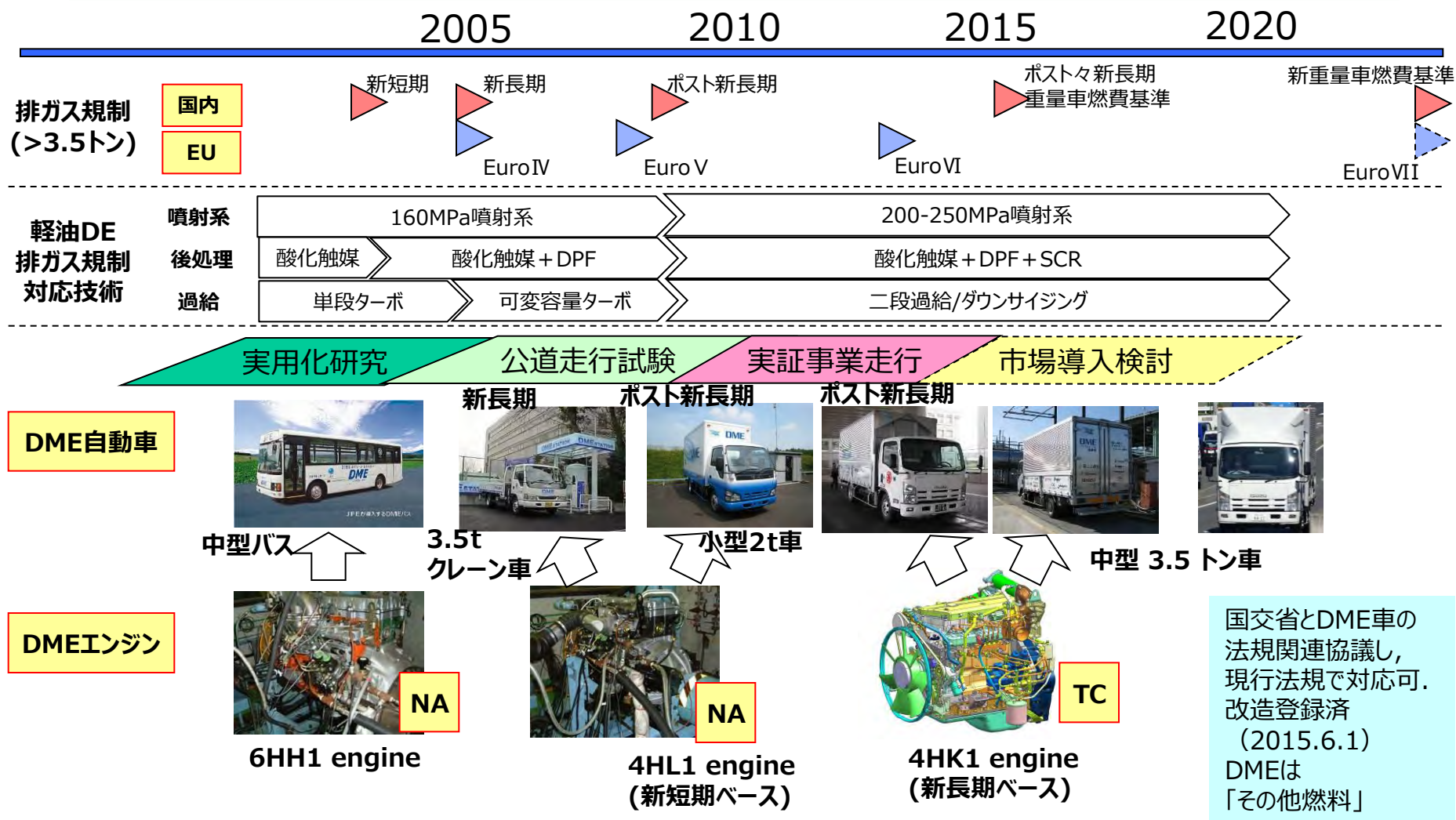
タンク容量: 42 t 気化器: 3.2 t/hr

ガスタービン発電機



出力: 4.2 MW

クリーンディーゼル燃料DMEトラックの実用化開発

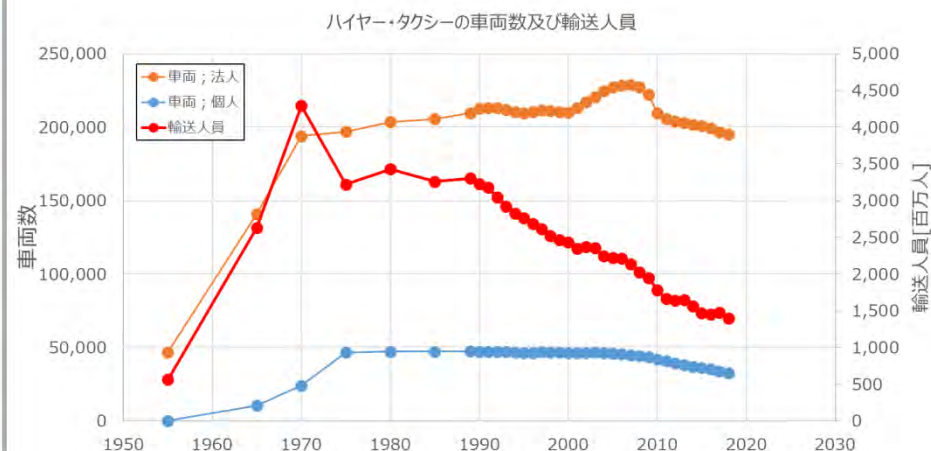
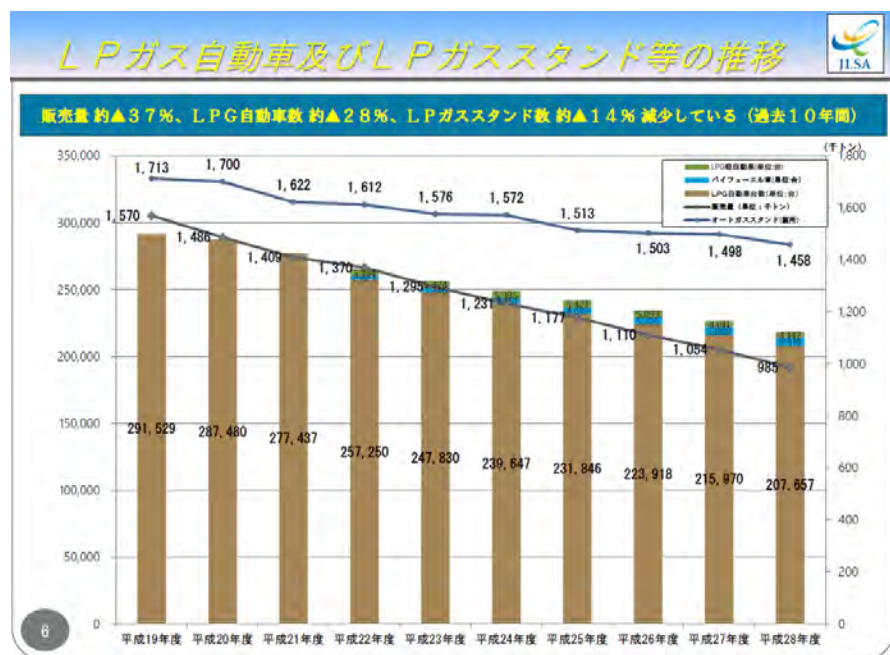


- ディーゼル車の排ガス規制の強化ならびに国プロと共にDME自動車開発実施
- DME自動車基準を作成し、2015年以降改造申請にて対応可能になった
- 更なる排ガス規制とともにCO2規制 (WtW) へ。
- カーボンニュートラルには自動車のみでは不可能な世界へ。

LPガス自動車用インフラを活用したCN-DMEスタンド網の構築

・大型トラックディーゼル車のPM対策、低炭素化に有効なCN-DMEの供給に、LPガス自動車用のインフラの活用が期待される。

- ハイヤー・タクシーは減少傾向
- 輸送人員は30年で半分に
- LPガススタンド数, LPガス自動車とも右肩下がり

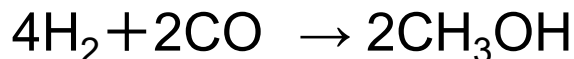


CN-DME: CN (Carbon Neutral)、バイオマスや再生可能電力から製造されるDME

DMEの製造方法

[従来の製造法]

- ・メタノール合成とメタノール脱水の2ステップ法(間接合成法)



- ・ライセンサー: 三菱ガス化学、ルルギ、トプソ、西南化工研究設計院など

[燃料用DMEの新規合成法]

- ・合成ガス($\text{H}_2:\text{CO}=1:1$)から直接合成(1ステップ法)



- ・ライセンサー:

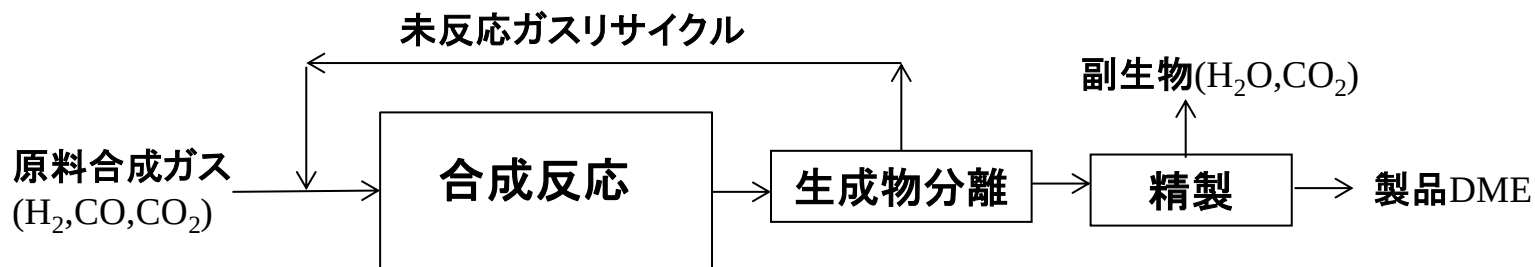
スラリー床プロセス: JFEが開発(レンファッドが継承)

固定床プロセス: 韓国KOGASが開発

DME製造における反応と分離

・効率と信頼性の高いプロセスの構築には、反応、分離にわたる総合的な考察が必要

- ▶ 反応
 - ・反応平衡(反応率、選択率)
 - ・触媒 活性、寿命
 - ・反応速度、反応率
 - ・選択率、微量副生成物
 - ・反応熱、反応器形式(固定床、スラリー床)と温度制御
- ▶ 分離
 - ・未反応ガスと生成物の分離(気液分離)
 - ・生成物の精製(蒸留)



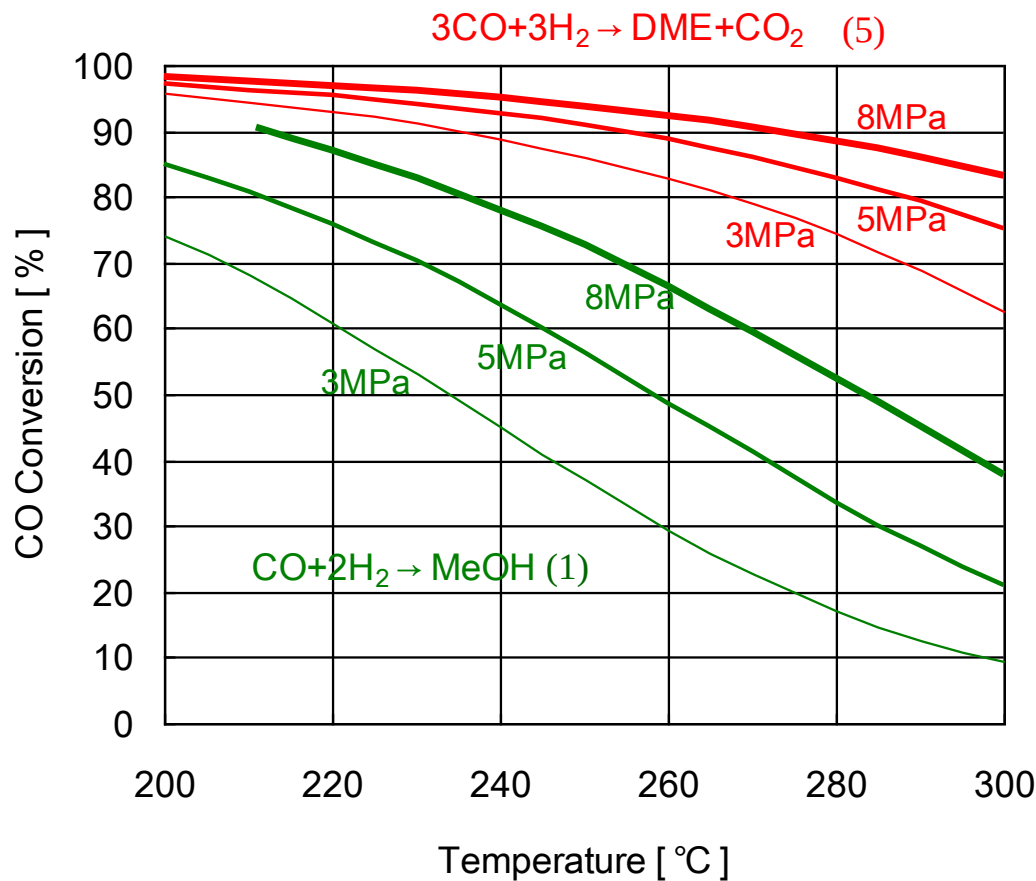
DME 合成に関する反応と反応熱

- ・DME合成に関連する反応は、いずれも発熱反応である。
合成ガス(CO,H₂)からのDME合成反応は、
反応(1)+反応(2)=反応(4)
反応(1)+反応(2)+反応(3) = 反応(5)
- ・CO₂とH₂からのDME合成(6)は、反応(3)の逆反応と、反応(1)、反応(2)からなる。
反応(1)+反応(2)-反応(3) x2 = 反応(6)
- ・DME合成反応(4)と(6)では、副生する水による触媒劣化と反応後の生成物と未反応ガスの分離プロセスが複雑となる。

反応	反応式	反応熱 (kJ/DME-mol)
(1)メタノール合成	$2\text{CO}+4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{OH}$	-181.6
(2)メタノール脱水	$2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	- 23.4
(3)水生ガスシフト	$\text{CO}+ \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2+\text{H}_2$	- 41.0
(4)DME合成	$2\text{CO}+4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	- 205.0
(5)DME合成	$3\text{CO}+3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$	- 246.0
(6)DME合成	$2\text{CO}_2+6\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	- 123.0

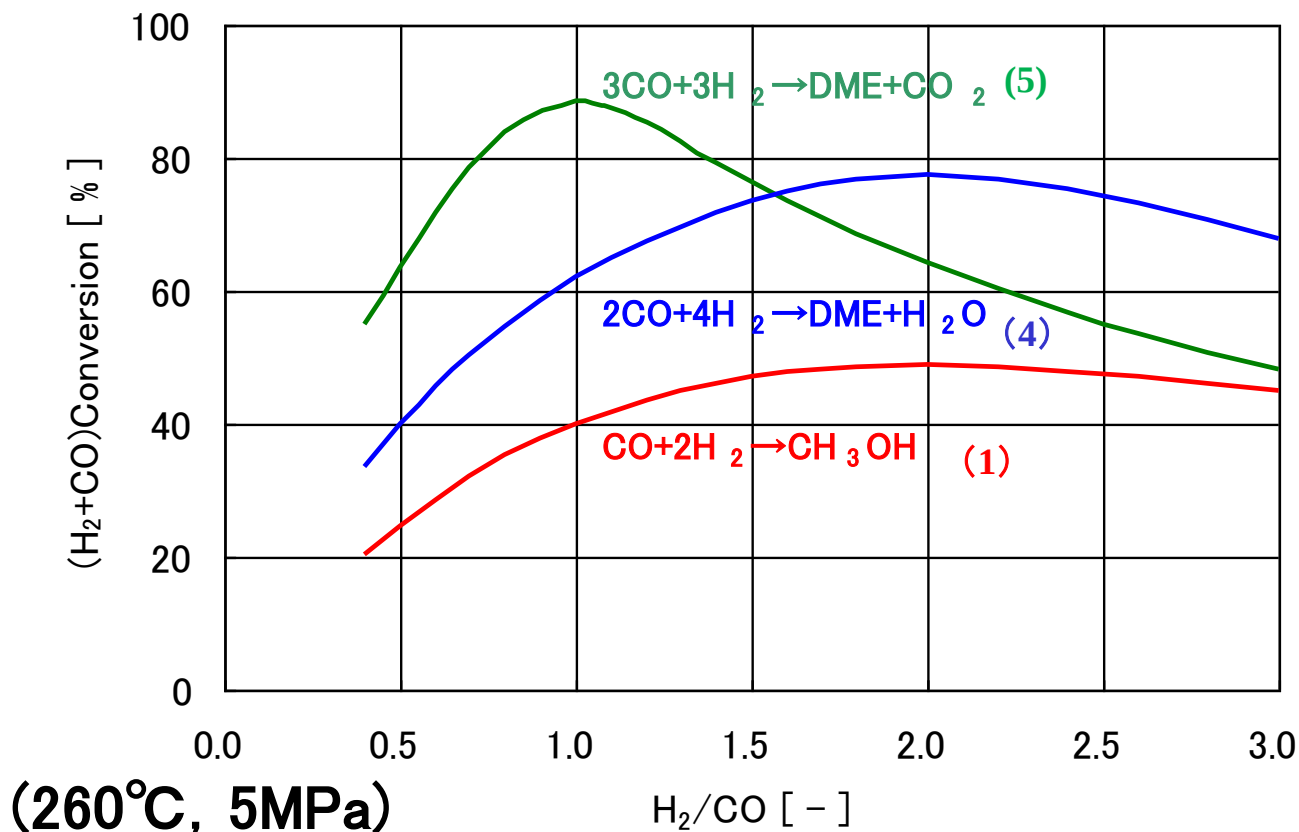
DME合成、メタノール合成の平衡転化率の温度圧力依存性

- ・ DME合成反応(5)、メタノール合成反応(1)は、共に、低温、高圧で、平衡転化率が高い。
- ・ DME合成反応(5)は、メタノール合成反応(1)と比べ、低圧で平衡転化率が高い。
5MPa、260℃で、90%程度の平衡転化率が期待される。



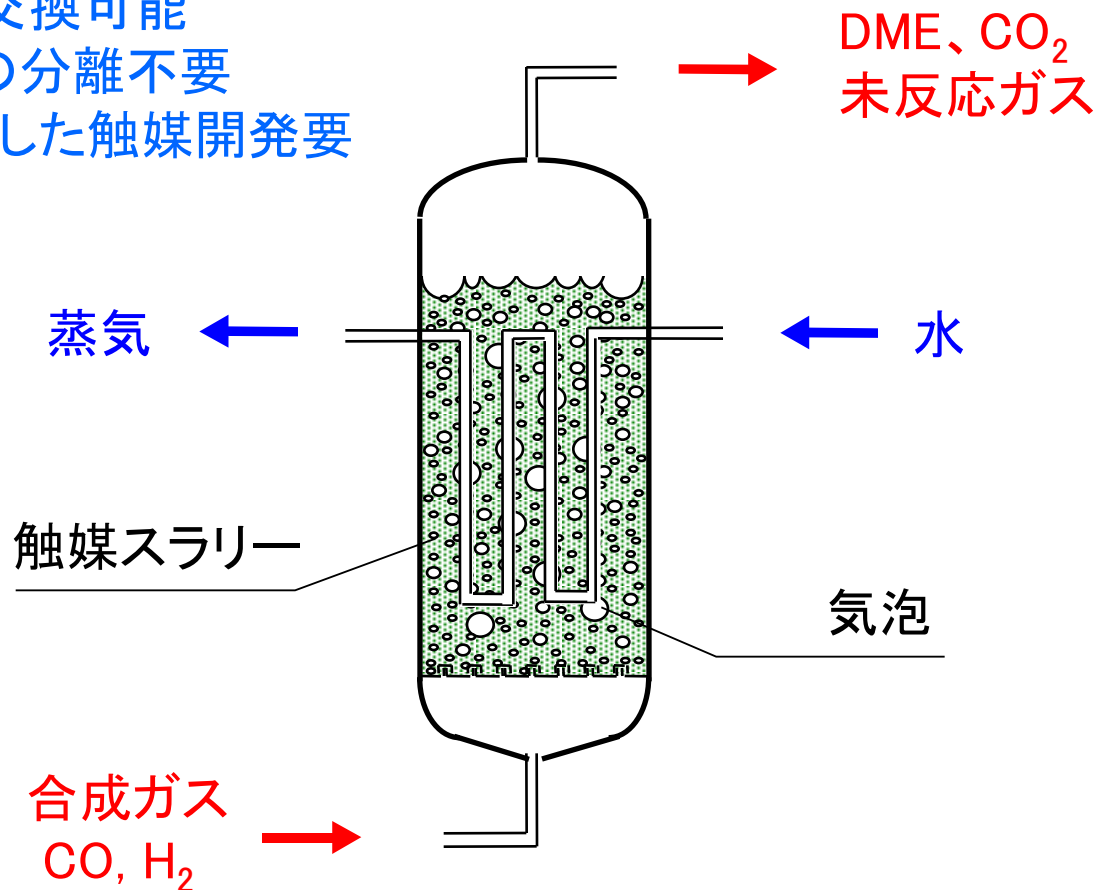
DME合成、メタノール合成の平衡転化率のH₂/CO依存性

- ・合成ガスのH₂/COが、化学量論式に一致する場合、平衡転化率が最大となる。
反応式(5)の最大値は、反応式(1) (4)の最大値より高い。
- ・JFEで開発されたプロセスは、反応式(5)、Haldor Topsoe、AirProductのプロセスは、反応式(4)に基づいている。



JFEスラリー床DME合成反応器概念図

- ・ 温度制御性に優れ、大きな発熱を伴う反応に適している。
- ・ 運転中に触媒交換可能
- ・ 触媒と媒体油の分離不要
- ・ スラリー床に適した触媒開発要



スラリー床DME直接合成プロセスの特徴

[1]触媒系と反応式

- ・メタノール合成+脱水+シフトの3機能触媒で、 $H_2/CO=1$ の反応実現
- ・平衡反応率が高く、石炭など炭素リッチの原料にも適する
- ・スラリー床で高反応率、高選択率を示す触媒開発

[2]スラリー床反応器

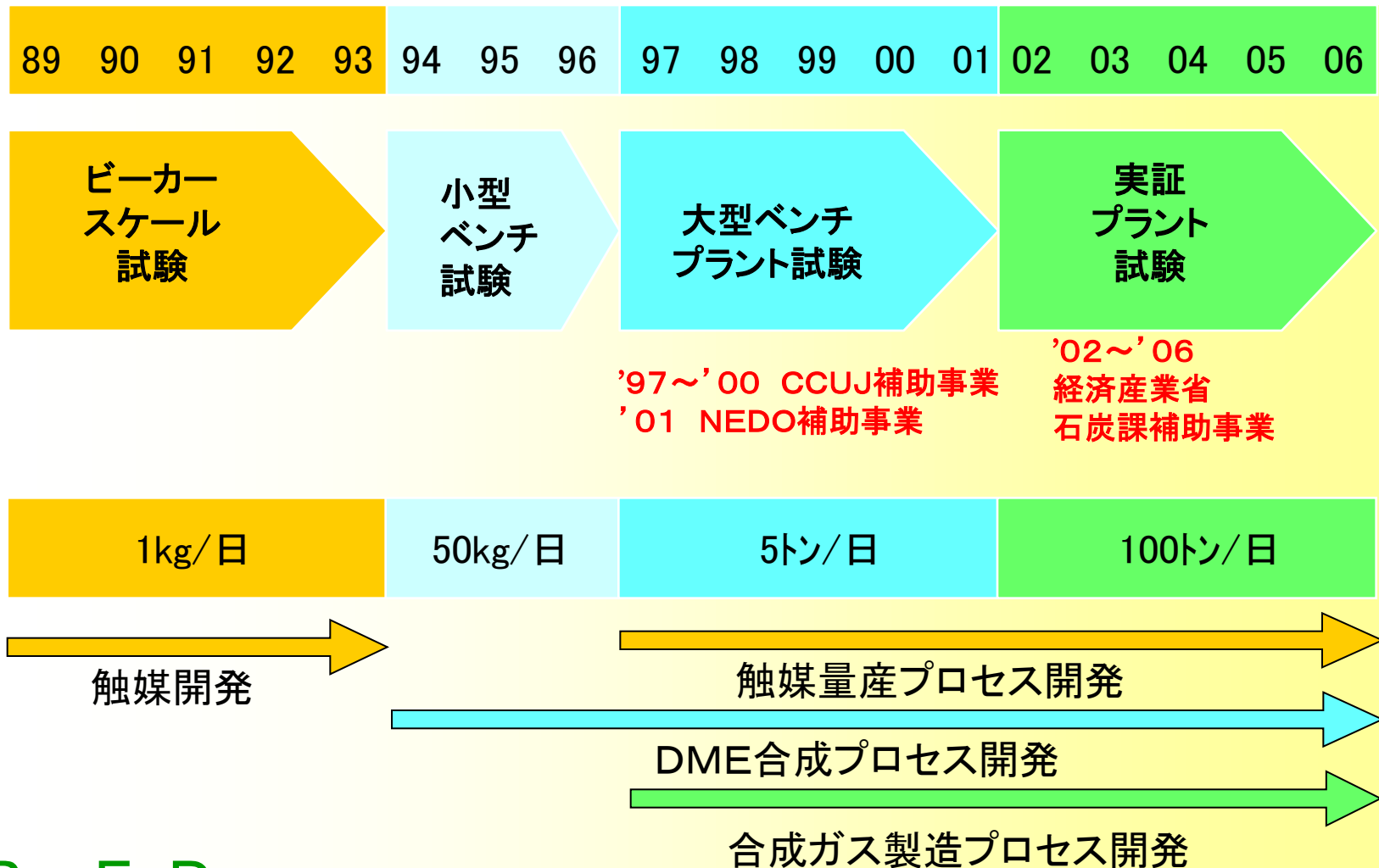
- ・有効熱伝導度が大きく、均一な温度分布実現、ホットスポット無し
- ・熱伝達係数が大きく反応器からの熱除去容易
- ・運転中に触媒交換が可能
- ・運転条件 圧力5Mpa、温度240–280℃

[3]気液分離

- ・水の副生が極微量でDMEを高効率で冷却分離
- ・ CO_2 はDMEに吸収され分離

スラリー床DME直接合成法開発の経緯

・触媒の基礎研究から段階的にプロセスを開発、商用技術として完成

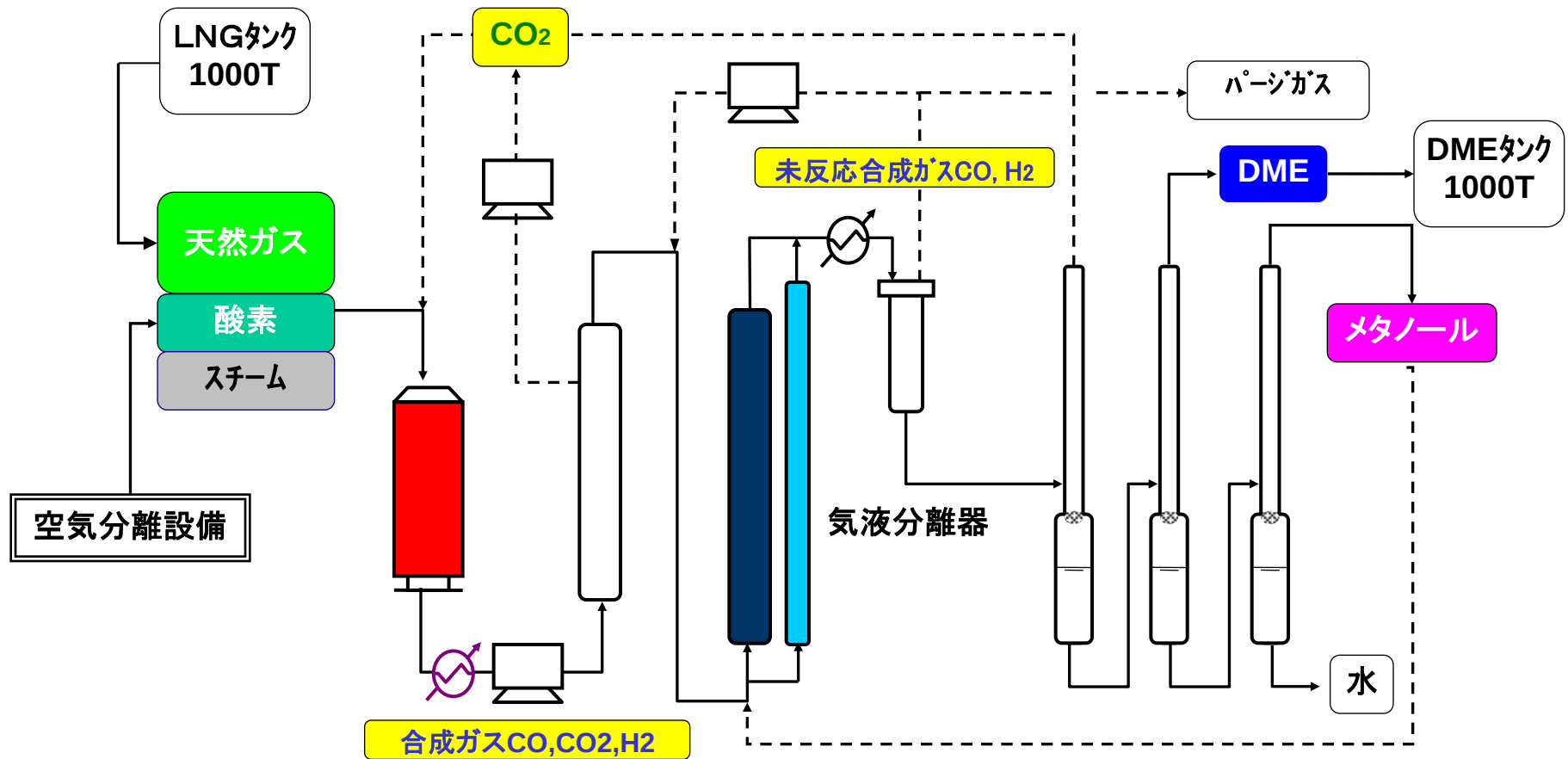


DME100トン/日実証プラント



北海道釧路で、有限会社DME開発(10社のコンソーシアム)により運転された。

DME100トン/日実証プラントプロセスフロー



オートサーマルリフォーマー クエンチャー CO₂ 吸収塔 DME 合成反応器 CO₂ ストリッパー DME 精製塔 メタノール 精製塔
 大型反応器 ID 230cm 高速反応器 ID 65cm

DME100トン/日実証プラント運転研究実績

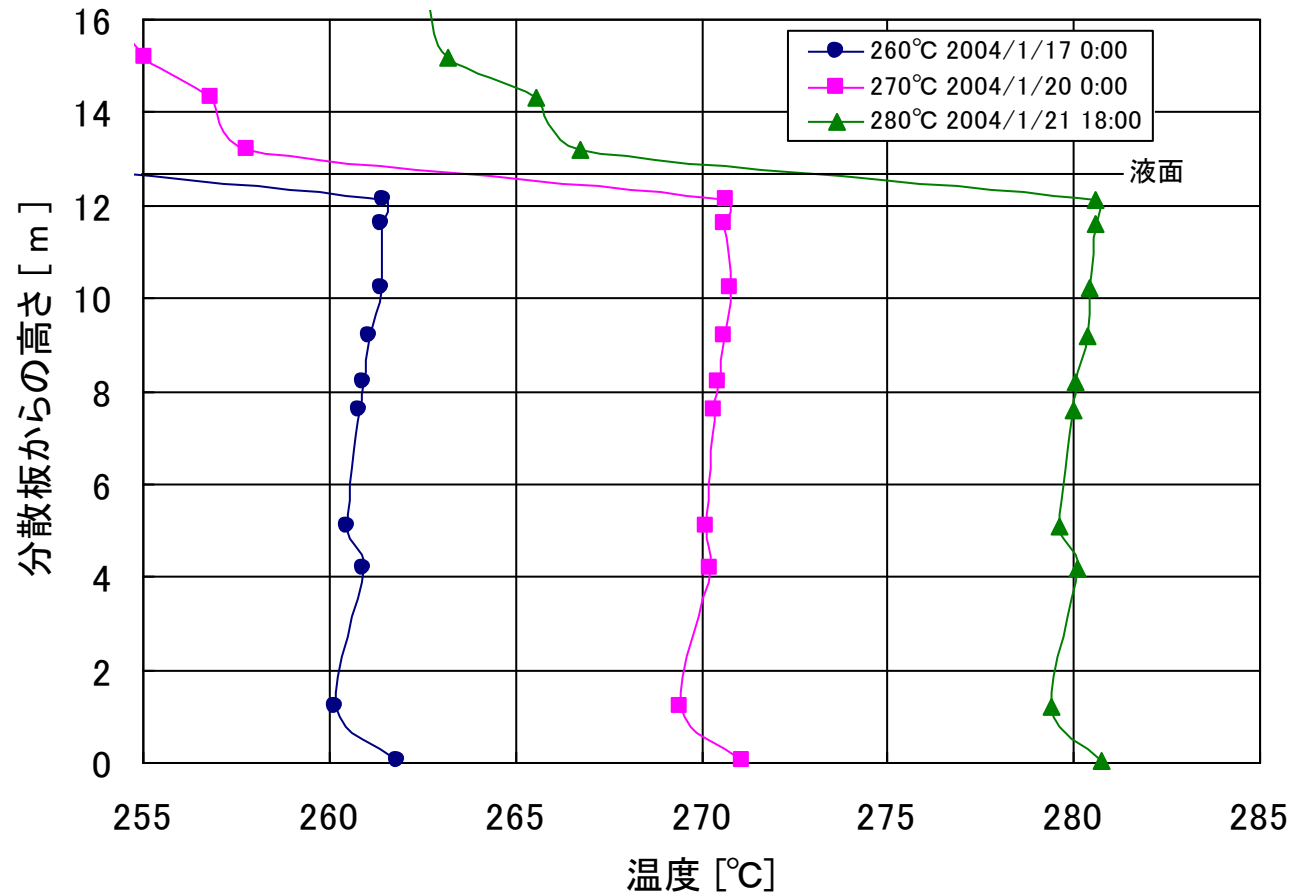
・総運転日数346日、DME総生産量約20,000tとなり、開発目標値は全て達成した。

RUN NO.-	期間	運転日数	DME生産量(t)
RUN100	2003/12/12-2004/1/26	43	1,240
RUN200	2004/6/20-7/31	39	2,500
RUN300	2004/10/6-12/16	72	4,230
RUN400/500	2005/6/15-11/13	152	9,070
RUN500A/600	2006/3/21-5/19	40	2,480
(合計)		346	19,520

項目	開発目標値	実績
総合反応率	95%以上	96%
選択率(Cモル比 DME/(DME+メタノール))	90%以上	94%
生産量	100t/d以上	109t/d
DME純度	99wt%以上	99.8wt%
連続運転	3ヶ月以上	5ヶ月間

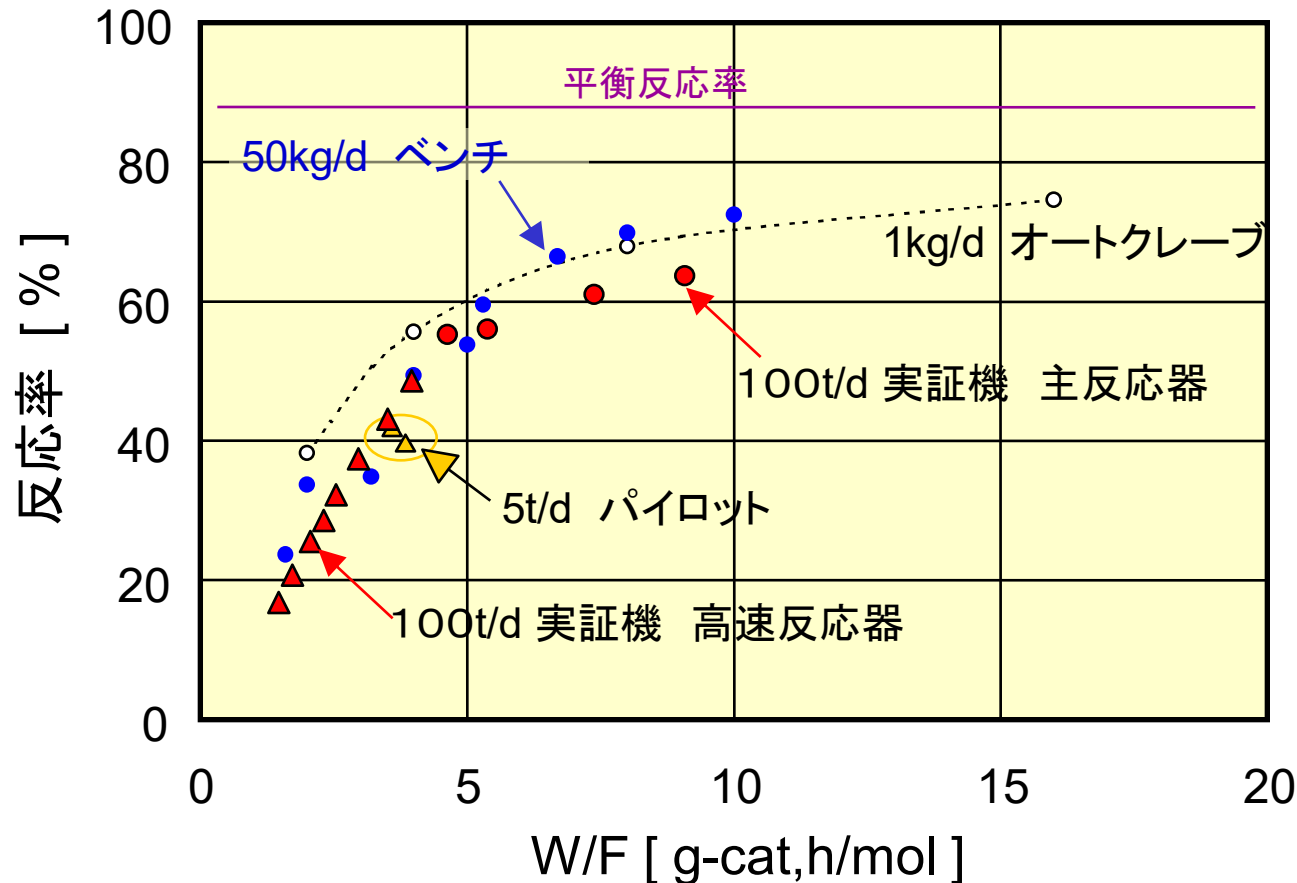
反応器内スラリー温度分布

- 温度分布は、反応温度260、270、280℃共に±1℃以内であった。



ワンパス反応率に対する W/F の影響

- 反応率は、反応器の規模によらず、W/Fとともに増大し、平衡反応率に漸近する。

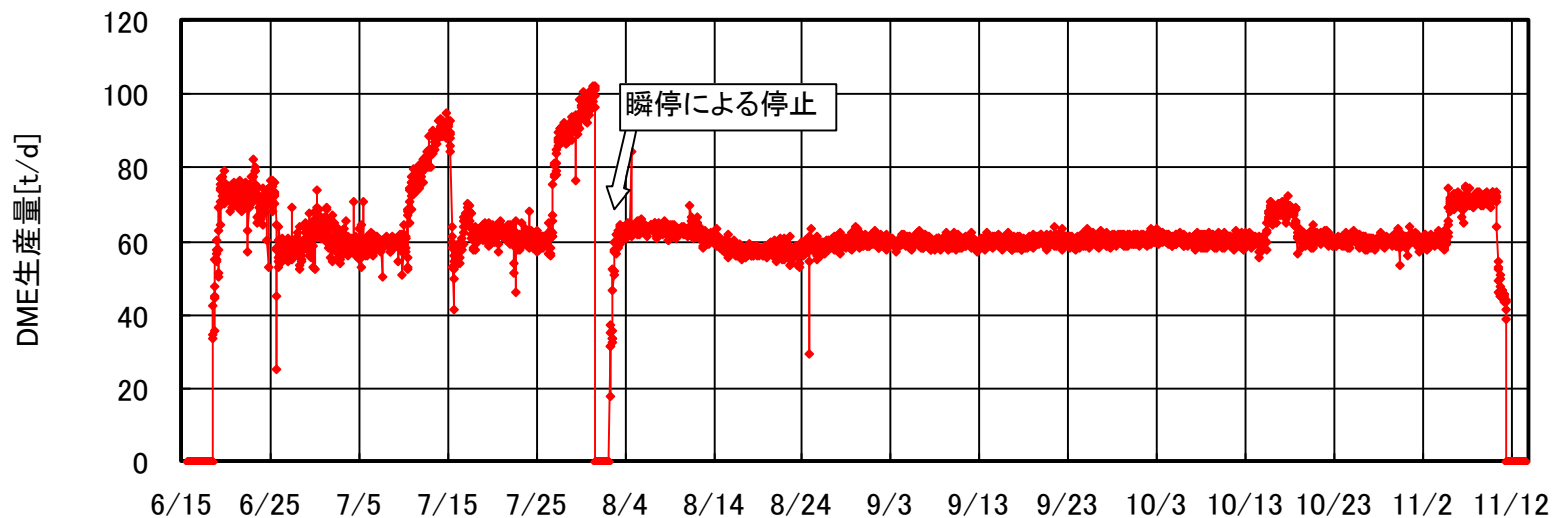


W:反応器充填触媒量 F:反応器通過ガス量

(260° C, 5MPaG)

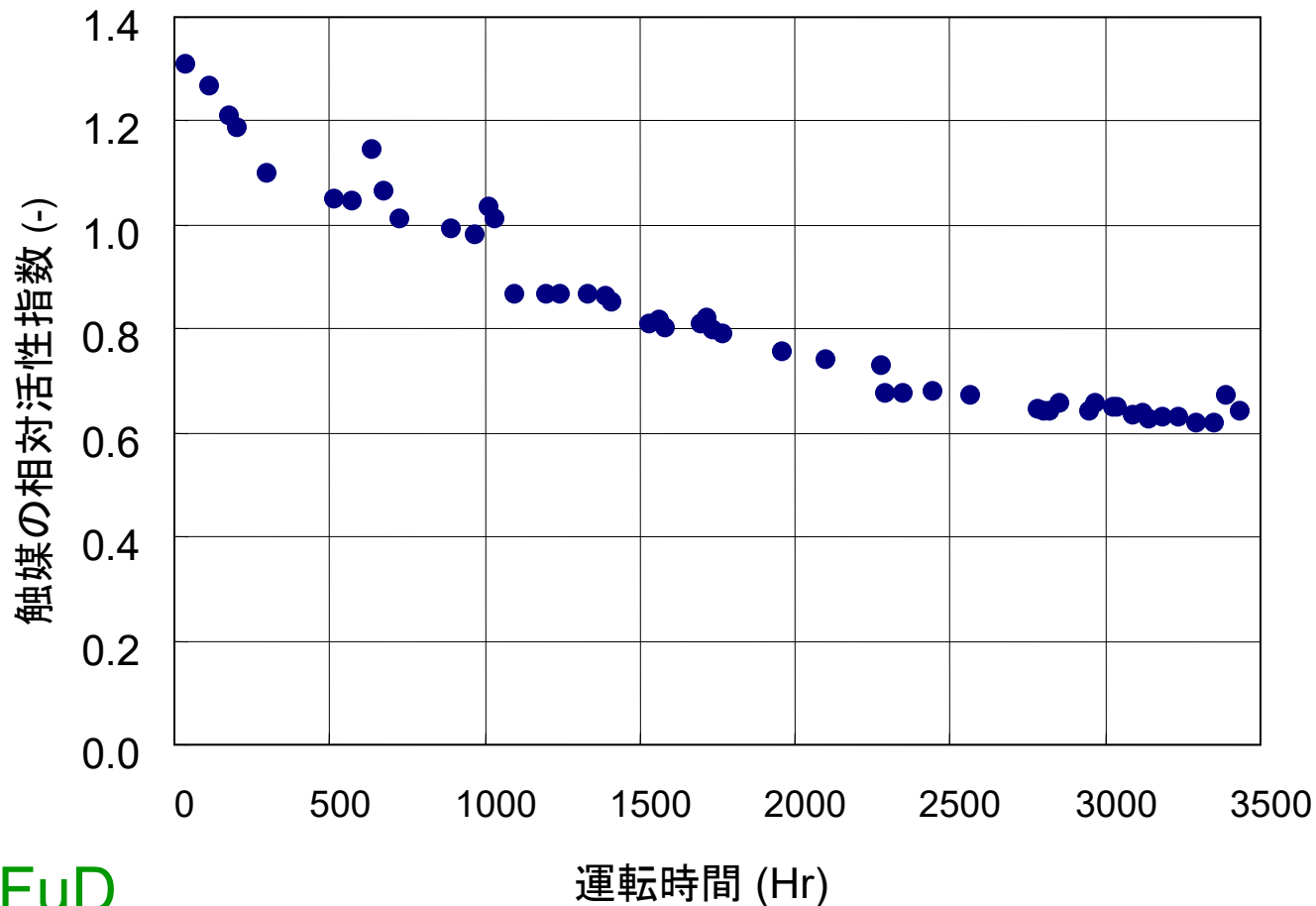
RUN400/500のDME製造推移

- ・RUN400、RUN500を継続して実施し、5ヶ月間の長期安定試験運転を実施した。原料のLNG購入予算の制約から、生産量を60t/dに下げ、長期運転を行った。
- ・7月31日16:26、北海道電力送電が落雷により瞬時停電したために運転を一時停止したが、トラブルなく復帰した。



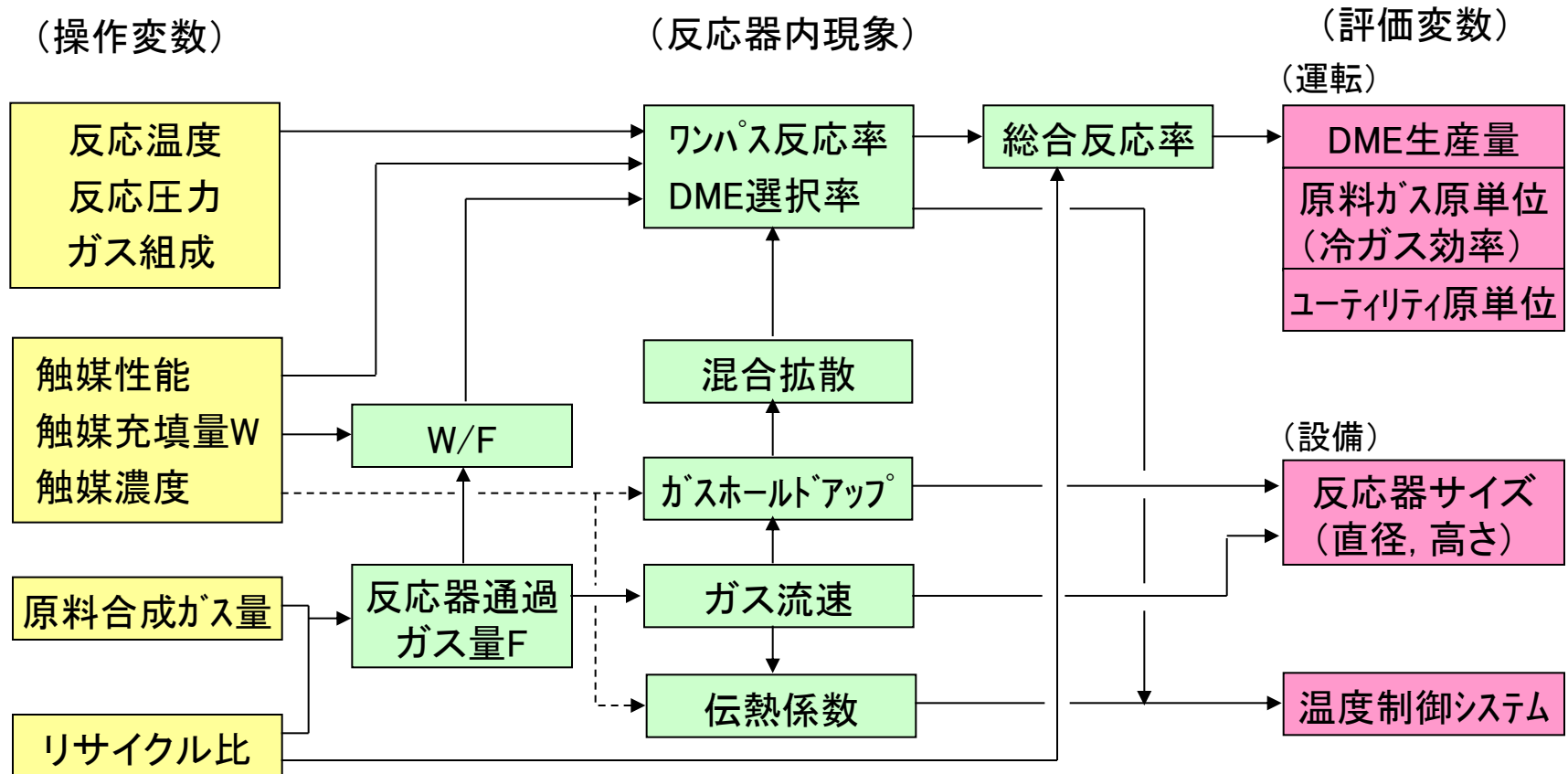
DME 合成触媒の活性変化

・RUN400+RUN500の連続5ヶ月間の長期安定試験運転期間中の触媒の活性変化を示す。運転開始直後は、活性低下が大きいですが、その後は、緩やかに低下し、商用のメタノール合成触媒と同等の挙動と判断される。



スラリー床DME直接合成プロセスのパラメータ

- ・反応器のスケールアップに必要な各種のプロセスパラメーターについて、測定データをもとに定式化し、大型の商用反応器の設計、運転方法を確立した。



DME100トン/日実証プラント運転研究成果

- ・2003年度から2006年度、5回の運転研究により、総運転日数346日、DME総生産量約19,500tとなった。安定した運転を実現し、各種エンジニアリングデータを取得し、プラントのスケールアップ技術、商用プラントを想定した運転方法を確立した。
- ・生産されたDMEは、タンクローリー車等で出荷され、ディーゼルエンジン発電、ガスタービン発電、ボイラー等の試験運転に活用された。

[経産省産業構造審議会産業技術分科会事後総合評価(2007年3月)]

- ・エネルギー供給安定化に資する新燃料DMEの高効率な直接合成技術を商用化できる段階まで開発しており、クリーンな液体燃料の持つ社会的、経済的意義は高く、技術立国を目指す日本としては世界に誇るべき成果を上げていると判断できる。
- ・日本の高度なDME技術を必要とする中国をはじめとした諸外国への国際的な事業展開や、自動車用燃料等への代替燃料として普及させるには、政策的な誘導が不可欠であり、継続的な国の支援が必要である。

国内バイオマス資源からのDME製造

- ・一般廃棄物は、基本的に人口に比例して発生、回収量が安定しており、回収作業は、自治体によりまかなわれている。
- ・木質系(間伐材、林地残材)については、潜在資源量は大きいですが、回収輸送コストが課題である。
- ・酸素、水蒸気を用いたガス化により、合成ガス($H_2/CO=1$)が得られる。 **ガス化—合成ガス—DME製造**
- ・下水汚泥も、人口に比例して発生し、性状も安定している。
- ・ただし、DME製造規模は、下水処理場の規模に制約される。
- ・また、食品廃棄物の混合処理が、実施されているケースでは、メタン発酵で生成するガスの熱量(メタン含有量)が高い。
- ・生成メタンの改質により、合成ガス($H_2/CO=1$)が得られる。

メタン発酵—メタン改質—合成ガス—DME製造



バイオガスの生成と用途

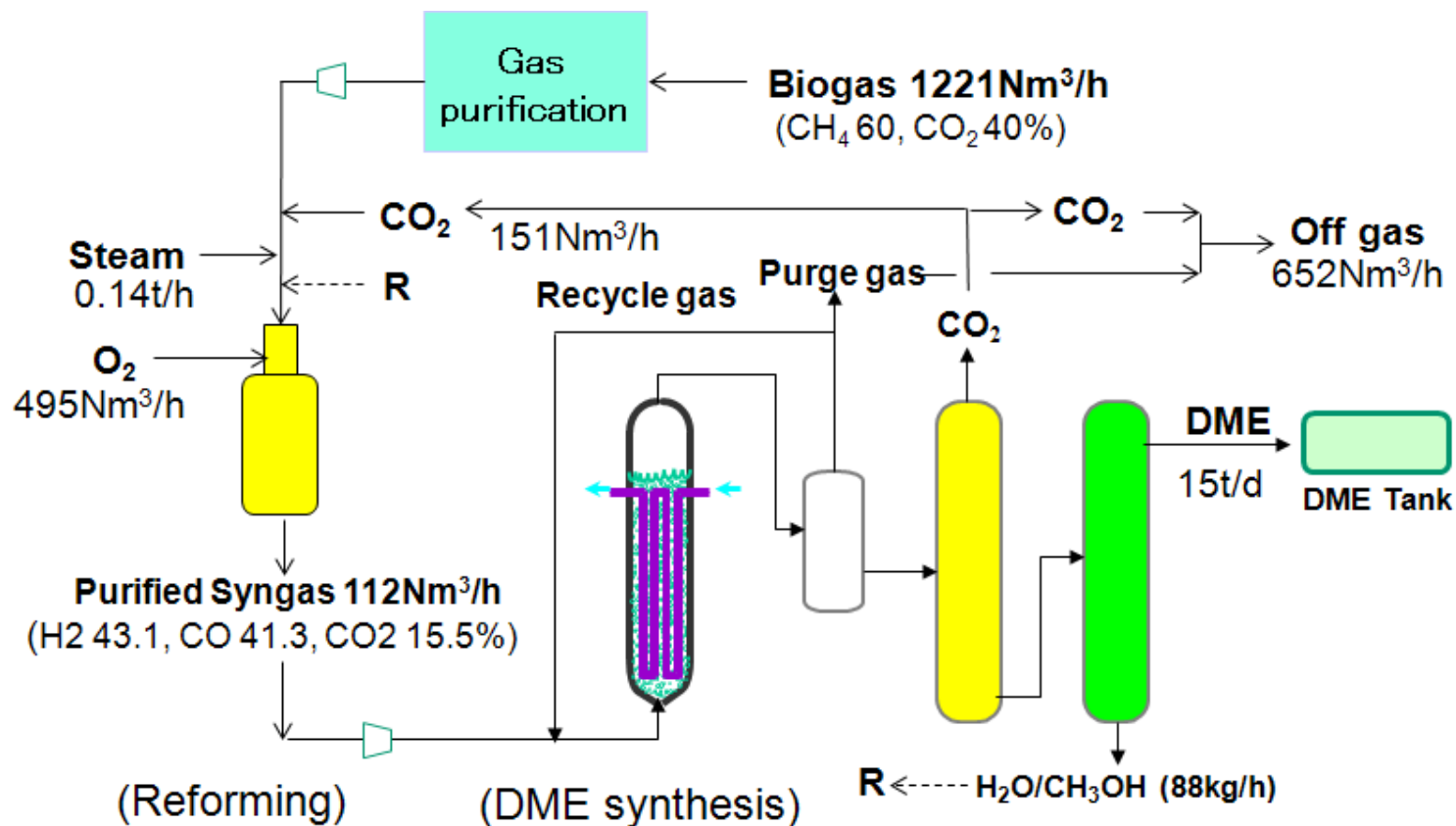
- ・全国で280か所の下水処理場でメタン発酵のシステムが組み込まれており、食品残渣のメタン発酵は46か所稼働している。
- ・食品残渣のメタン潜在生成量は、約17億m³と推定されており、下水汚泥との混合処理により、ガス生成量増加と設備有効利用が期待されている。
- ・メタン発酵により得られるバイオガスは、組成がほぼ一定で、メタン60%、CO₂40%で、主に処理施設の発電、ボイラー燃料として使用されている。
- ・国内の廃棄物系バイオマスのメタン発酵のポテンシャル¹⁾

種類	年間発生量 (万トン)	メタン潜在生成量 (億m ³)	メタン生成原単位 (m ³ /トン)
下水汚泥(濃縮汚泥)	7,600	6.23	8.2
食品廃棄物	2,200	17.0	77.3
家畜排せつ物	9,100	16.0	17.6
合計	18,900	39.23	—

(1)李玉友:“メタン発酵技術の概要とその応用展望”、JEFMA、No.53,p.4,(2005.8)

バイオガスからのDME製造

- ・人口25万人の都市で発生する下水汚泥と食品残渣のメタン発酵により生成するバイオガス(1340Nm³/h)から、15トン/日のDMEが製造される。
- ・冷ガス効率:68.6% ・熱効率:55.5%



バイオガス原料DME経済性評価例

前提条件

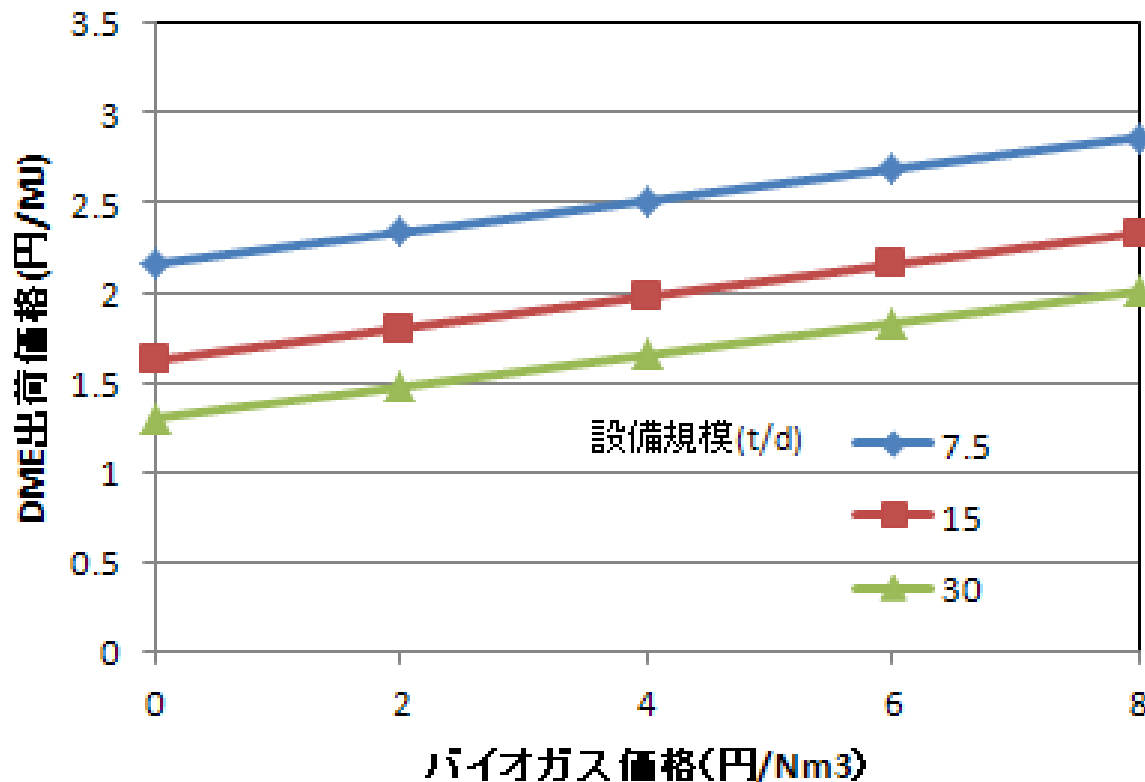
原料バイオガス量	: 505, 1011, 2022万Nm ³ /年 *1
プラント規模	: 7.5, 15, 30トン-DME/日
プラントコスト	: 9.4, 15, 23.9億円 *2
原価償却	: 20年定額償却
バイオガス価格	: 0-8円/Nm ³
利益率	: DME製造価格の20%
運転員	: 2名、4シフト + 2名 計10名
稼働	: 345日/年

*1消化ガス発生量の例: 1570万Nm³/年(東京都森ヶ崎水再生センター)

*2下水道資源のエネルギー事業に対して、国土交通省 社会資本整備
総合交付金として10分の5.5 の支援が可能

バイオガス原料DMEの経済性評価例

- ・バイオガス原料DMEの出荷価格は、設備規模が大きいほうが低い。
国内のLPガス卸売価格(100-160円/kg)(2.1-3.4円/MJ)と比較し、
基本的に経済性はあると判断される。



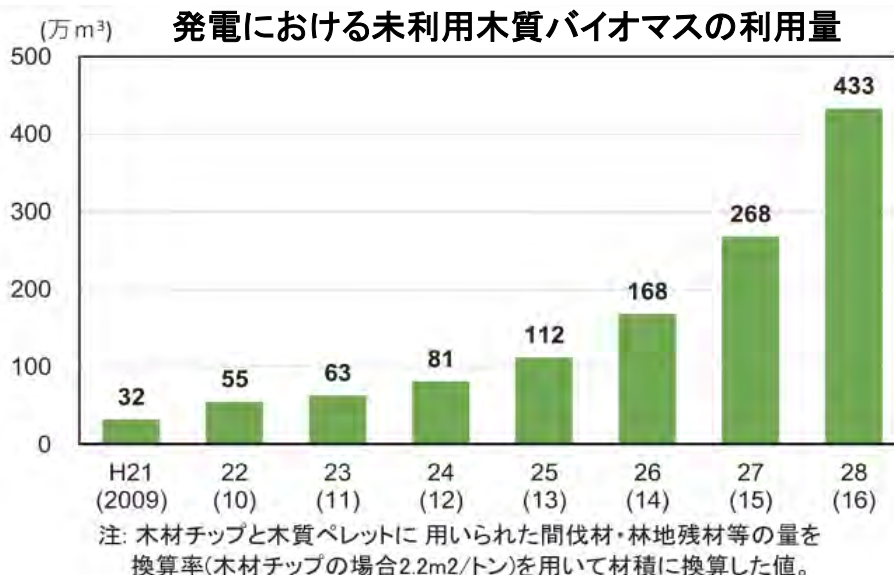
木質バイオマスの資源量-1

35

・木質バイオマスの製材工場等残材、建設発生木材の殆どが、製紙原料、木質ボード原料、燃料用等として既に利用されている(右図)

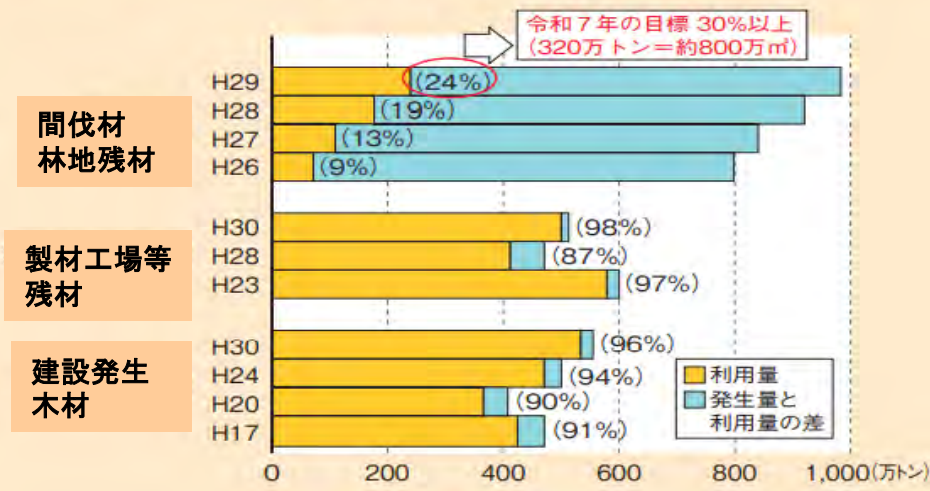
・間伐材・林地残材で、これまで利用されていなかった「未利用材」は固定価格買取制度(FIT)の導入以降、利用が年々増加しており、2015~2016年度には、それぞれ前年から約60%増加(下図)

・しかし利用率は低く、利用拡大の余地は十分ある。
潜在的には森林面積は膨大である。(右図)



(出典)令和元年度
森林・林業白書

木質バイオマスの発生量と利用量の状況(推計)



FIT制度の導入を受けて、各地で木質バイオマスによる発電施設が新たに整備されている。

主に間伐材等由来のバイオマスを活用した発電施設については、令和元(2019)年12月末現在、出力2,000kW以上の施設40ヶ所、出力2,000kW未満の施設30ヶ所が同制度により売電を行っており、合計発電容量は385,424kWとなっている。さらに、全国で合計57か所の発電設備の新設計画が同制度の認定を受けている。

木質バイオマスの資源量-2

36

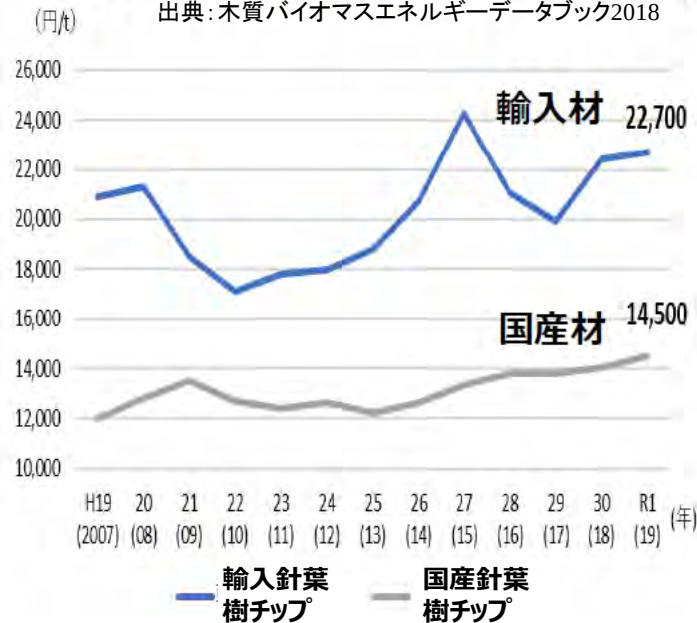
- ・未利用木質に対し一般木材の発電容量は大きい。
稼働容量 129万kW, 認定容量 747万kW
- ・上記稼働容量の 6割、認定容量の 9割 が輸入
バイオマス燃料とする一般木材の区分(右図)
となっている。
- ・特に大規模発電事業者は価格が高くと(下図)
供給量が安定な輸入木材を活用する動きがある。
- ・この傾向をPKS、ペレット輸入量の推移が示して
いる(右下図)
- ・上記はLPガスの需要が大きい都市部向けバイオ
DMEの原料調達に参考となる。

FITにおけるバイオマス発電稼働・認定状況 (2019年12月末時点)

	メタン 発酵	未利用木質		一般木材	リサイクル 木材	廃棄物	合計
		2000kW 未満	2000kW 以上				
稼働 件数	182	30	40	56	5	98	411
認定 件数	221	79	48	192	5	117	662
稼働 容量 kW	62,645	21.137	364.287	1,290,655	85,690	289,336	2,113,751
		合計 385,424					
認定 容量 kW	85,332	65.269	435.887	7,471,408	85,690	391,590	8,535,176
		合計 501,156					

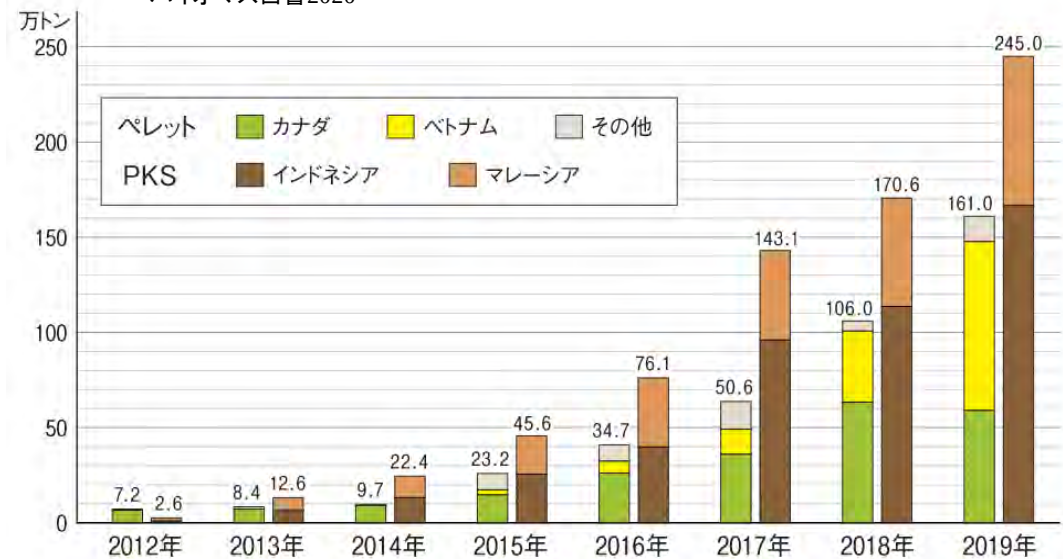
＜木質バイオマス燃料の価格推移＞

出典：木質バイオマスエネルギーデータブック2018



出典：(一社)日本バイオマスエネルギー協会
バイオマス白書2020

出所：資源エネルギー庁 Website 【*2】

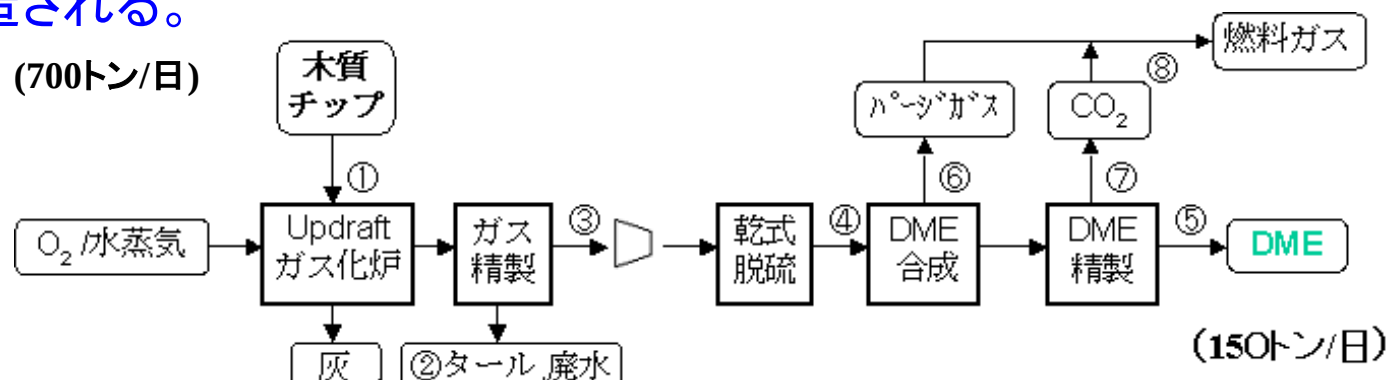


PKS 及び ペレット輸入量の推移

出典：(一社)日本バイオマスエネルギー協会
バイオマス白書2020

木質チップからのDME製造

・700t/dの木質チップ(湿分40%)をガス化・精製したガスから、150t/dのDMEが製造される。



木質バイオマスガス化DME製造プロセス物質収支(DME150t/d)

		ガス化炉運転条件 酸素(純度90%) 3800Nm ³ /h 水蒸気 3.7t/h							
		①原料	②タール	③粗製ガス	④精製ガス	⑤DME	⑥ハージガス	⑦CO ₂ ガス	⑧燃料ガス
温度	℃	—	40	15	200	25	10	15	15
圧力	Mpa	—	—	0.1	5.5	0.8	2	2	0.2
流量	kmol/h	(29.2t/h)	(1.4t/h)	1,161	1,142	136	125	329	454
H ₂	%	—	—	37.98	38.62	0.00	20.53	0.75	6.19
CO	%	—	—	38.20	38.85	0.00	17.24	3.21	7.08
CO ₂	%	—	—	15.89	16.16	0.00	3.98	96.04	70.70
CH ₄	%	—	—	4.70	4.78	0.00	43.64	0.00	12.01
N ₂	%	—	—	1.57	1.60	0.00	14.61	0.00	4.02
DME	%	—	—	0.00	0.00	100.00	0.98	0.00	0.27
H ₂ O	%	—	—	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
熱量(LHV)	GJ/h	333	23	276	276	180	58	4	61
熱量比率	%	100.0	6.9	82.9	82.9	54.2	17.3	1.1	18.4

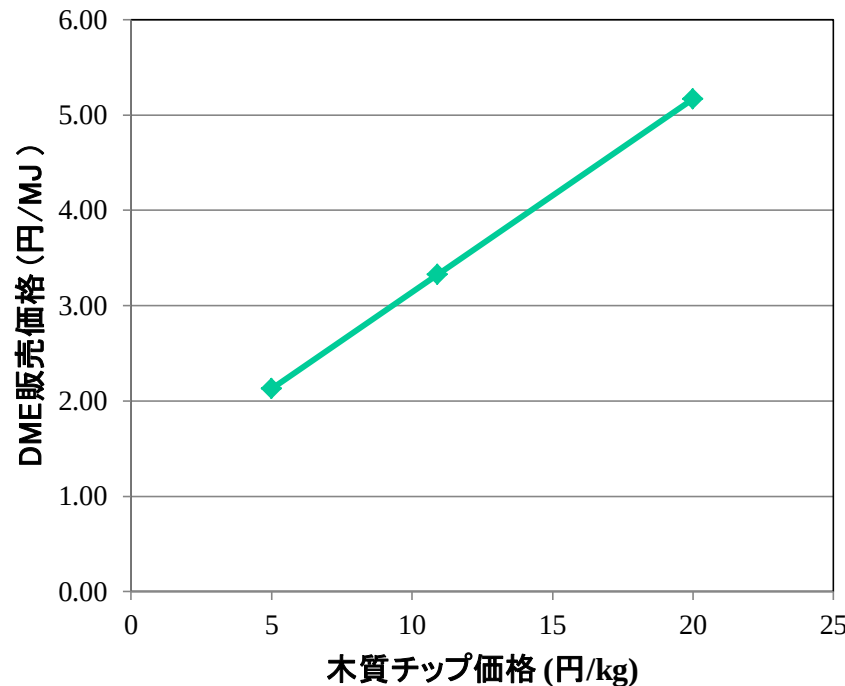
木質チップ原料DME経済性評価例

前提条件	原料木質チップ量	: 700トン/日 (24万t/年)
	プラント規模	: 150トン-DME/日 (5.1万t/年)
	設備費	: 100.6億円
	原価償却	: 20年定額償却
	木質チップ価格	: 5-20円/kg
	利益率	: DME製造価格の20%
	運転員	: 4名X4シフト+2名 計18名
	稼働日数	: 345日/年

設備項目	概要	コスト(億円)
ガス化炉	原料系1基、ガス化炉4基	29
酸素プラント	PSA 2000Nm ³ /h、2基	7
昇圧設備	コンプレッサー、KODラム等、1式	8
脱硫設備	水素化触媒塔1基、脱硫塔3基	4
DME合成設備	スラリー床直接法、1式	29
ユーティリティ	冷却水、純水、ボイラー、計装空気、N ₂	7
計		84
設備費コンティンジェンシー	設備費計の5%	4.2
DME貯蔵・出荷設備	1100tタンク1基、600tタンク2基、出荷設備	12.4
合計		100.6

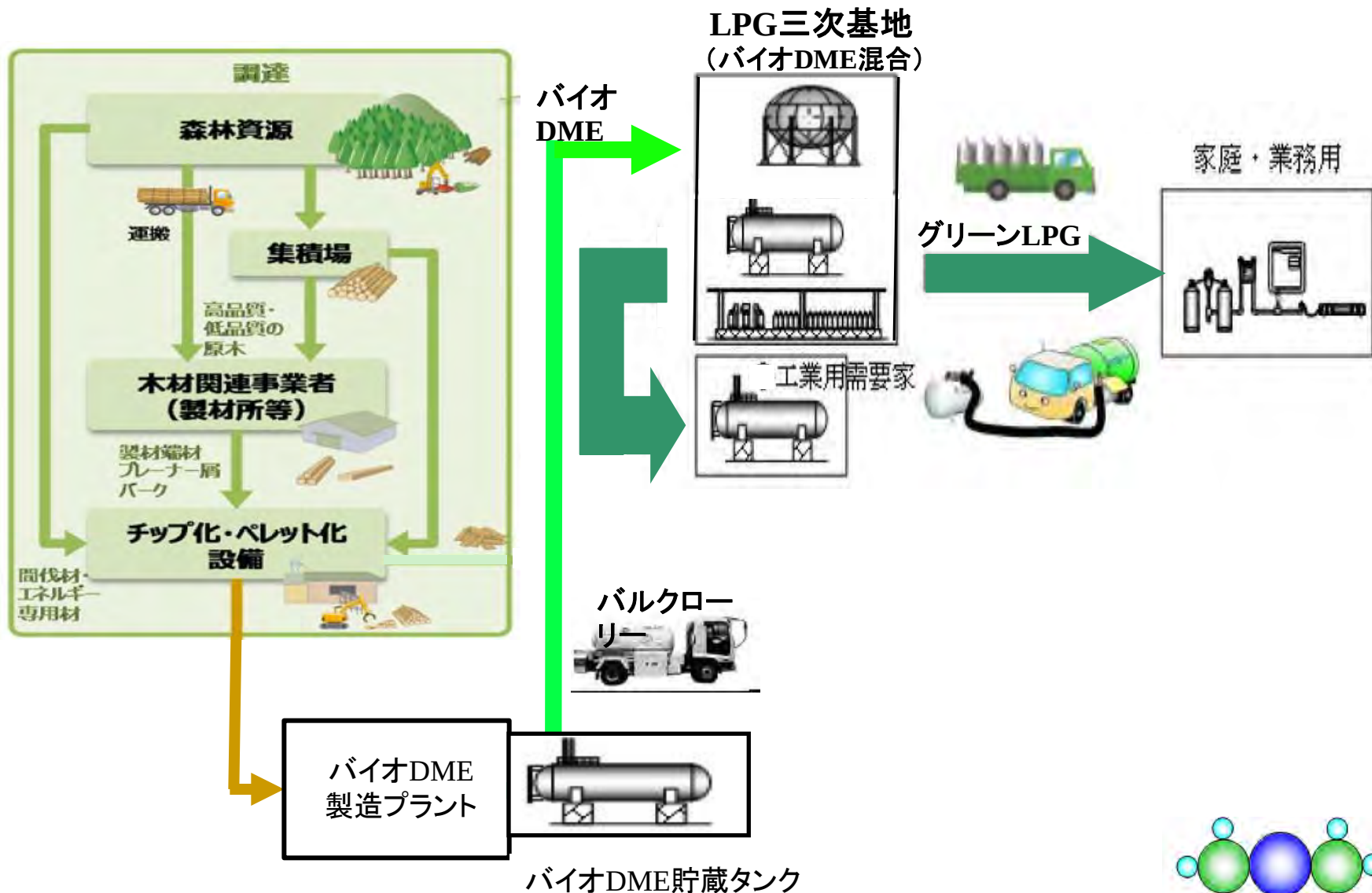
木質チップ原料DMEの経済性評価例

- 木質チップ原料DMEの出荷価格は、原料チップ価格の影響が大きい。
国内のLPガス卸売価格(100–160円/kg)(2.1–3.4円/MJ)と比較し、
10円/kg以下の原料の入手が必要になる。

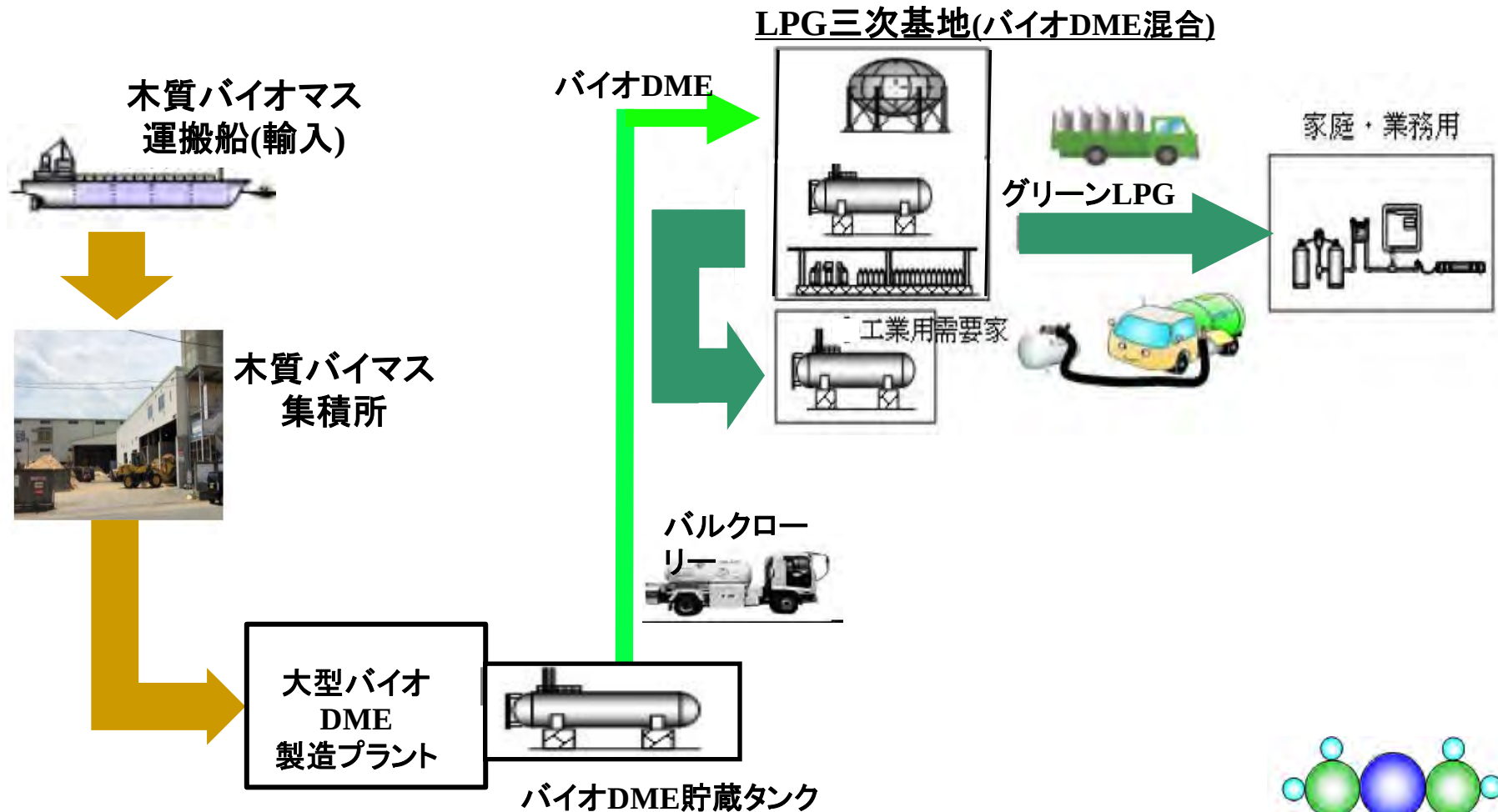


バイオDME供給構想：地産地消型

- ・木質原料の調達立地の良い場所にバイオDME製造プラントを設置し周辺地域に供給



- ・都市圏のLPガス需要は大きいので、混合するバイオDMEの生産量を増やす必要がある。
- ・国産木質バイオマス原料は都市圏から離れた地域に分散して点在するので1ヵ所に大量の集積は困難。
- ・大型バイオDME製造施設用の木質バイオマス原料は供給が安定な輸入木質バイオマスの検討も必要。
- ・輸入木質バイオマス原料としてはチップ材、ペレット、PKSが考えられる。



CCUとエネルギーキャリアの条件

・CO₂の回収と利用

集中発生源である発電所、製鉄所、化学工場などからの回収が適している。運輸部門は、分散発生源なので回収は難しい。CO₂の化学的利用の対象物質は、消費量の多い、燃料、基礎化学品、還元材等が適している。

2013年度CO₂排出量(億トン): 発電(4.93)、鉄鋼(1.80)、化学(0.65)、運輸(2.22)

・CO₂は安定な物質なので、反応利用には、活性の高い副原料が必要

量的に安価に使用できるのは、再生可能電力による水電解で生成された水素。

・海外の再生可能水素の輸送

再生可能電力資源は、日本の国土状況から限られるので、化石資源と同様に、資源が豊富な海外からエネルギーキャリアで輸送利用することが現実的。

エネルギーキャリアの物性、製造効率、コスト、海上輸送・貯蔵の難易度、利用技術、安全性などの観点から、DMEに優位性がある。

	液体水素	MCH	アンモニア	メタン	メタノール	DME
沸点[°C]	−253	101.1	−33.4	−161.5	65	−25
容積エネルギー密度[MJ/L]	8.5	5.7	13.4	21.2	15.8	19.3
爆発限界[%]	4〜75	1.2〜6.7	15〜28	5〜15	6.7〜36	3.4〜27
許容濃度[ppm]	—	400	25	—	200	—

国別CO₂排出量、電力消費量と風力発電ポテンシャル

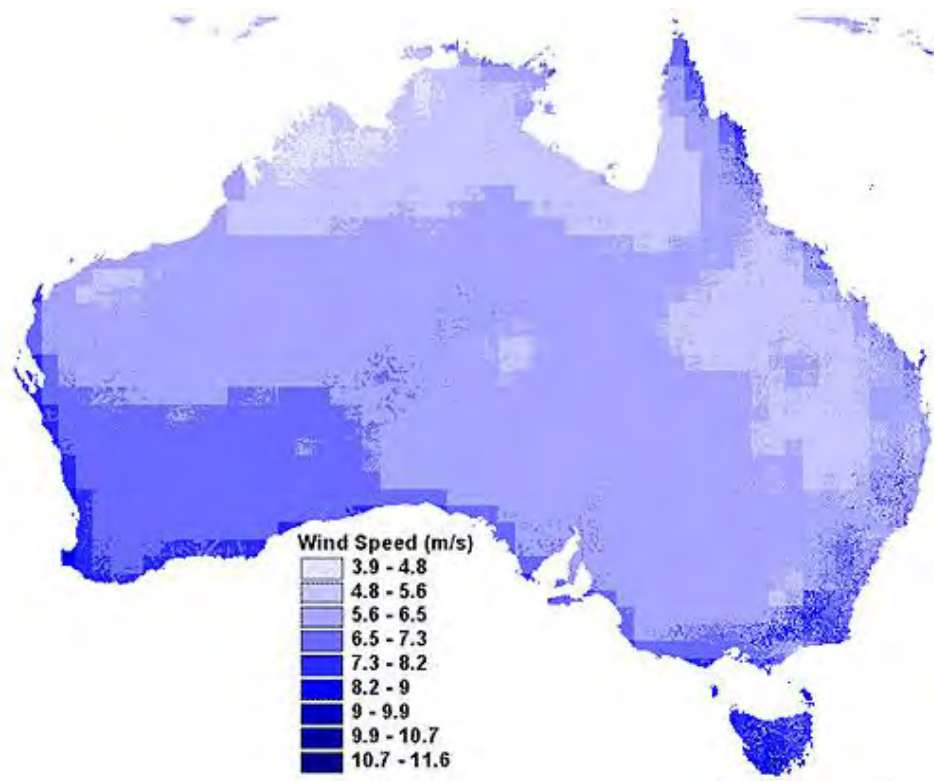
・電力消費量と風力発電ポテンシャルを比較すると、日本は、陸上風力のポテンシャルが小さく、立地の制約も大きい。一方、豪州は、陸上風力に大きなポテンシャルがあり、比較的低コスト電力が得られる可能性がある。

国名	排出量 (百万トンCO ₂)	電力消費量 (TWh)	風力発電ポテンシャル(TWh)	
			陸上	洋上
中国	9,057	6,310	39,000	4,600
アメリカ	4,833	3,922	74,000	14,000
インド	2,077	1,547	2,900	1,100
ロシア	1,439	1,065	120,000	23,000
日本	1,147	934	570	2,700
ドイツ	732	533	3,200	940
韓国	589	495	130	990
カナダ	541	528	78,000	21,000
メキシコ	446	238	2,000	1,000
ブラジル	417	518	8,000	3,000
オーストラリア	392	224	86,000	13,000
イギリス	371	309	4,400	6,200
イタリア	326	291	250	160
フランス	293	431	3,000	2,000

[風力発電ポテンシャルの出典] Xi Lua, Michael B. McElroy^{a,b,1}, and Juha Kiviluoma^c:
 “Global potential for wind-generated electricity” (www.pnas.org/cgi/doi/10.1073)

豪州の風力資源と風力発電の進展

・豪州は国土が広く風力発電のポテンシャルが高い。最近では、CO₂排出抑制の政策と設備価格の低下もあり、ビクトリア州も含め多くの風力発電計画があり、発電電力量も増加しつつある。



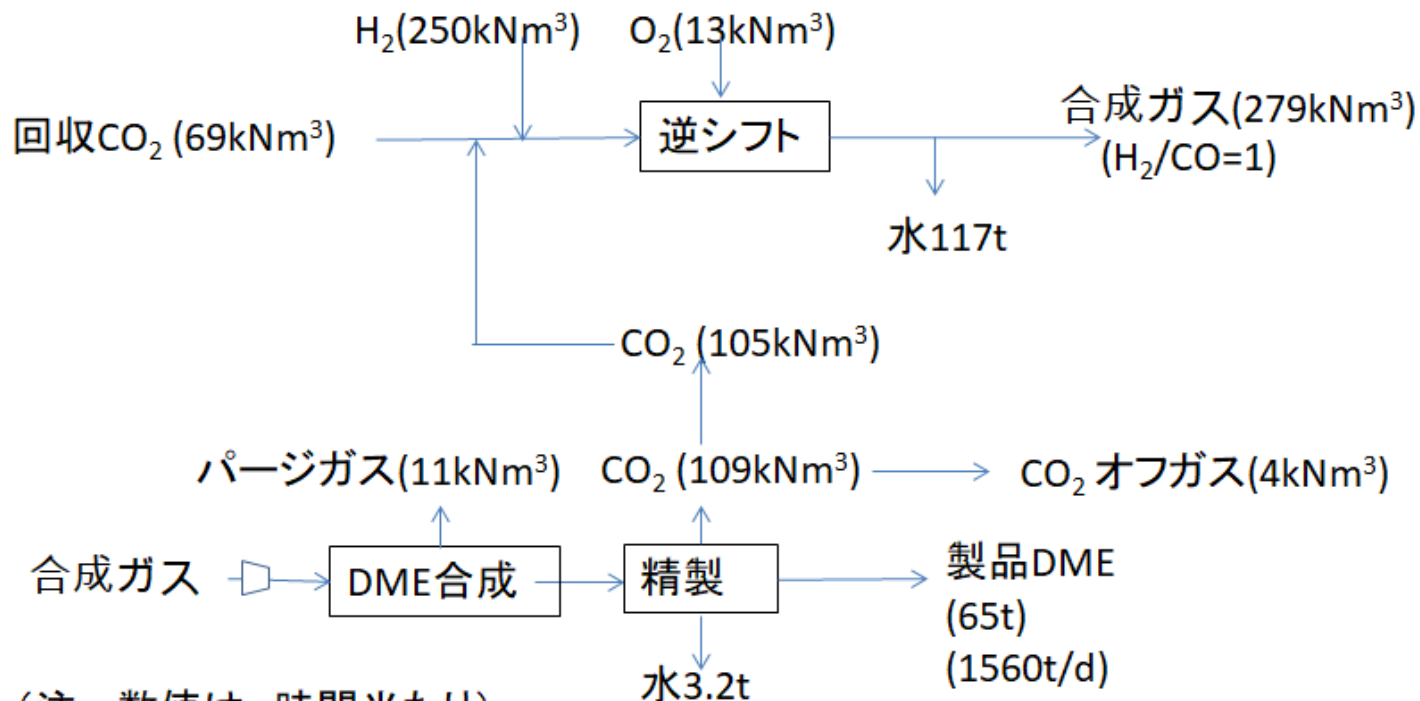
風力発電容量(MW)

州	稼働中	建設中
SA	1475	106
Vic	1230	420
NSW	668	220
WA	491	0
Others	668	0
合計	4187	746

Ref: Clean Energy Australia Report 2015

回収CO₂とH₂からのDME製造プロセスフロー

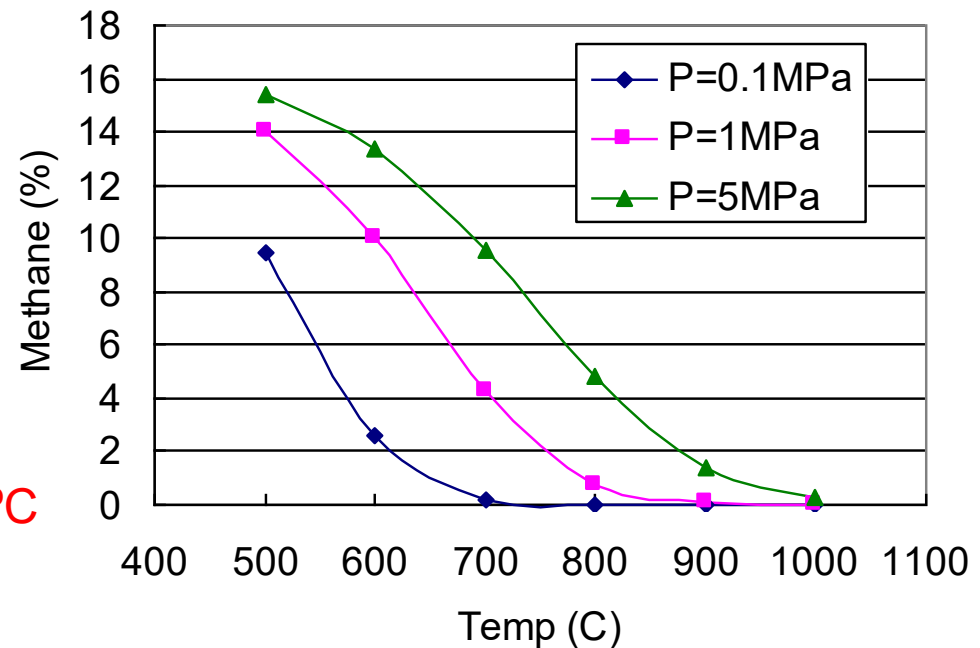
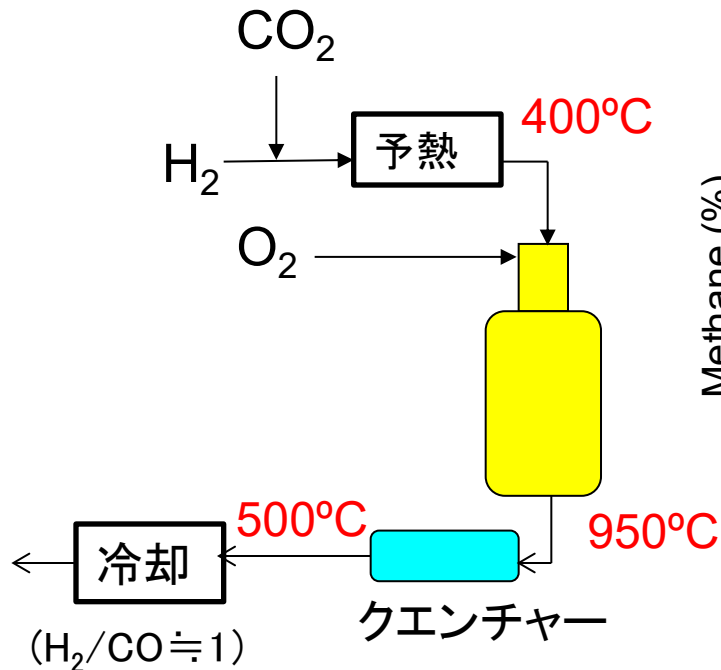
- ・回収CO₂とDME合成の副生CO₂に、再生可能水素を混合し、逆シフト反応させて、合成ガスを得る。
- ・合成ガスを5MPaに昇圧し、DMEを合成する。 合成されたDMEは、副生するCO₂を分離・精製される。 DME生産量は、65t/h(1560t/d)。
- ・DME製造の冷ガス効率： 製品DME発熱量/風力水素発熱量=68.1%



(注: 数値は、時間当たり)

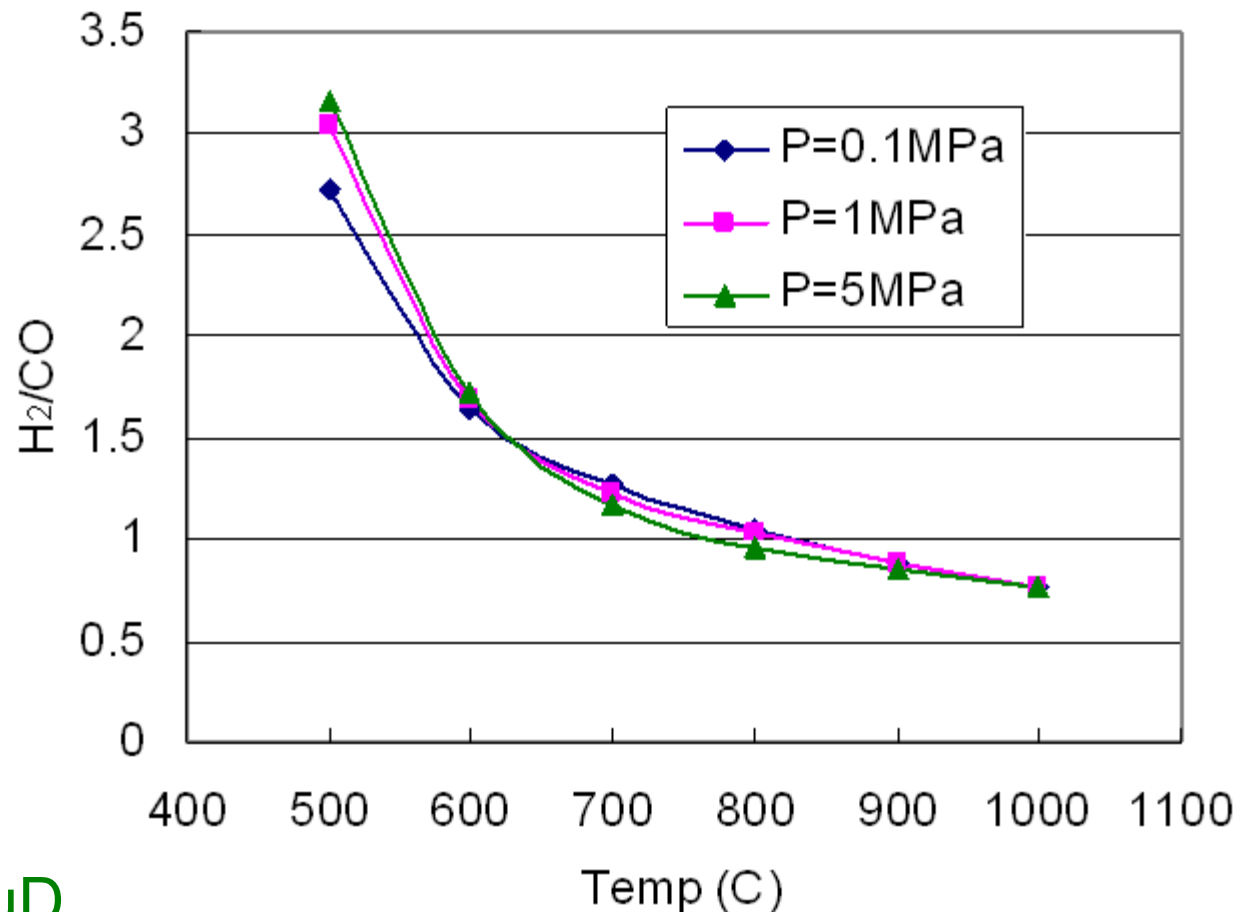
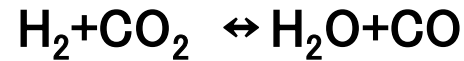
逆シフト反応によるDME合成用ガスの製造

- ・ CO_2 を水素と逆シフト反応させ、 $\text{H}_2/\text{CO}=1$ のガスとする。
- ・逆シフト反応器におけるメタン生成抑制には、 950°C 程度の温度が必要なので、酸素を利用したオートサーマルタイプの反応器を使用する。原料の H_2/CO_2 混合ガスは 400°C に予熱する。酸素は、水電解で副生する酸素を利用する。
- ・反応器出口ガスは、組成の変化を避けるためクエンチャーで急冷する。



逆シフト反応の平衡条件 (H_2/CO)

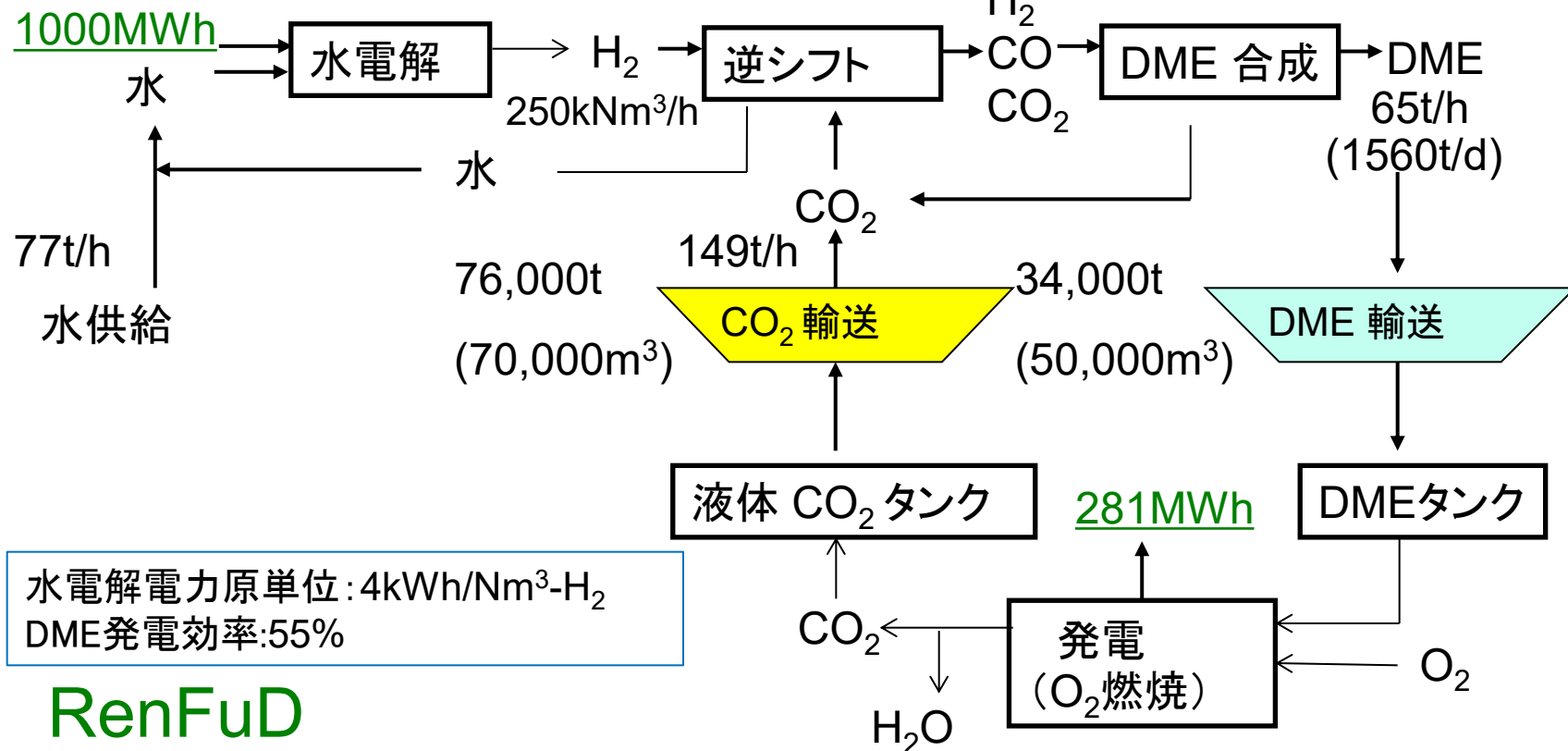
- ・反応温度が高いほど、 H_2/CO が低下し、 800°C で、 $\text{H}_2/\text{CO}=1$ になる。



回収CO₂と再生可能水素から製造したDMEの発電利用

- ・回収CO₂と再生可能電力により製造した水素を逆シフト反応させ、合成ガスとし、DMEを合成する。DMEは低温船で消費地に輸送する。
- ・DME消費地で回収されたCO₂は液化し、DME製造地に帰り便で輸送する。
- ・エネルギー効率: H₂からDMEの冷ガス効率 68%、電力輸送 281/1000=28.1%
- ・CO₂削減量: $281 \times 24 \times 365 \times 0.567(\text{t-CO}_2/\text{MWh}) = 1.4\text{百万t}$ (電力排出量の0.3%)

再生可能電力



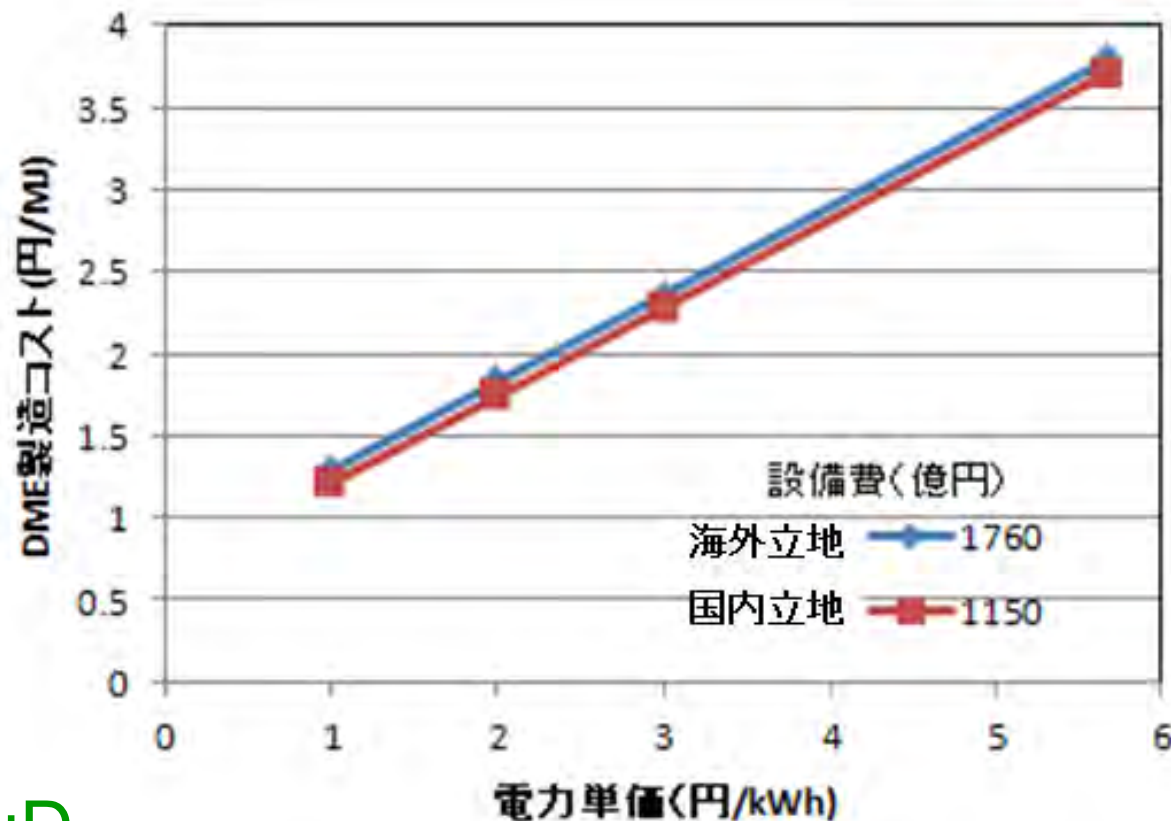
回収CO₂と再生可能電力水素から製造したDMEの経済性

- ・DME生産量 1560t/日×330日=51.5万t/年
- ・設備費 水電解設備、CO₂回収液化設備費が大きい。国内設置の場合は、船舶輸送関連の設備は不要。CO₂回収費は、運転費で考慮。(1000円/CO₂-t)
- ・償却：30年定額償却 運転員：10名(2×4+2) 利益率：DME製造価格の20%

設備区分	設備能力	価格(億円) (国内設置の場合)	
水電解装置	250KNm ³ -H ₂ /hr	750	
逆シフト装置	250KNm ³ -H ₂ /hr	74	
DME合成設備	1560t/d	294	
DME積荷基地	1560t/dに対応	37	(-)
DME輸送船	1560t/d に対応	120	(-)
DME揚荷基地	1560t/d に対応	34	(-)
CO ₂ 回収液化	74KNm ³ -CO ₂ /hr	400	(-)
オーナーコスト(3%)		50	(32)
合計		1760	(1150)

再生可能電力からのDMEの経済性評価例

- ・再生可能電力による電解水素と回収CO₂から製造されるDMEの出荷価格は、電力単価の影響が圧倒的に大きい。設備費の影響は大きい。
- ・海外からの輸送を考慮しても、電力価格の低い立地が経済性で有利。
- ・国内のLPガス卸売価格(100-160円/kg)(2.1-3.4円/MJ)と比較し、電力単価が2.5(円/kWh)以下であれば、基本的に経済性はあると判断される。



まとめ

◇ 燃料DMEの特徴

- ・LPG類似の物理性状、輸送・貯蔵が容易、健康影響、安全性はLPGと同程度
- ・無煙燃焼し、NO_x対策技術確立、ディーゼルエンジン燃料に適している

◇ DMEの製造・利用技術

- ・スラリー床直接合成技術の技術供与と触媒供給体制は確立している
- ・流通、利用技術も実用化が可能な段階に達している
- ・LPGとの混合利用についての必要な技術的知見は、すでに得られている。

◇ 再生可能資源から製造したDME利用により期待される低炭素化

- ・国内のバイオマス資源として、バイオガス、一般廃棄物は、既存の原料収集系が利用でき、収集量の確保、コストで優位性がある。
- ・木質チップは、ガス化原料として優れ、資源量も多いが、収集コストが課題。
- ・発電所、製鉄所等で回収したCO₂と再生可能水素から製造したDMEは、再生可能電力価格が低下してくれば、経済性が出てくると考えられる。
- ・エネルギー供給の低炭素化に必要とされるDMEの供給には、各種再生可能資源の総合的利用が必要と考えられる。
- ・DMEを活用した低炭素化は、長期的視点からの政策的支援が不可欠

参 考

各種エネルギーキャリアの物性

	液体水素	MCH	アンモニア	メタン	メタノール	DME	プロパン
分子式	H ₂	C ₇ H ₁₄	NH ₃	CH ₄	CH ₃ OH	CH ₃ OCH ₃	C ₃ H ₈
液密度[kg/m ³]	70.8	774	700	424	787	670	500
臨界温度[°C]	-240.2	—	—	-82.5	—	—	—
沸点[°C]	-253	101.1	-33.4	-161.5	65	-25	-42
融点[°C]	-259	-126.6	-78	-182.5	-98	-141	-190
蒸気圧(25°C)[Mpa]	—	0.0061	1.02	—	0.0129	0.53	0.91
蒸気密度(空気1)	0.0445	3.39	0.59	0.554	1.11	1.59	1.52
重量エネルギー密度[MJ/kg]	120.8	(7.4)*1	18.6	50.0	20.1	28.8	46.5
容積エネルギー密度[MJ/L]	8.5	(5.7)*1	13.4	21.2	15.8	19.3	23.2
蒸発熱[MJ/kmol]	0.9	31.15	23.36	8.18	35.2	21.52	16.41
ウォッペ指数 [MJ/m ³]	48	—	—	54	64	52	81
引火点[°C]	-157	-3.9	132	-187	10	-41	-102
発火点[°C]	527	309	651	527	385	350	450
爆発限界[%]	4～75	1.2～6.7	15～28	5～15	6.7～36	3.4～27	2.1～9.5
許容濃度[ppm]	—	400	25	—	200	—	—

*1:輸送される水素の熱量

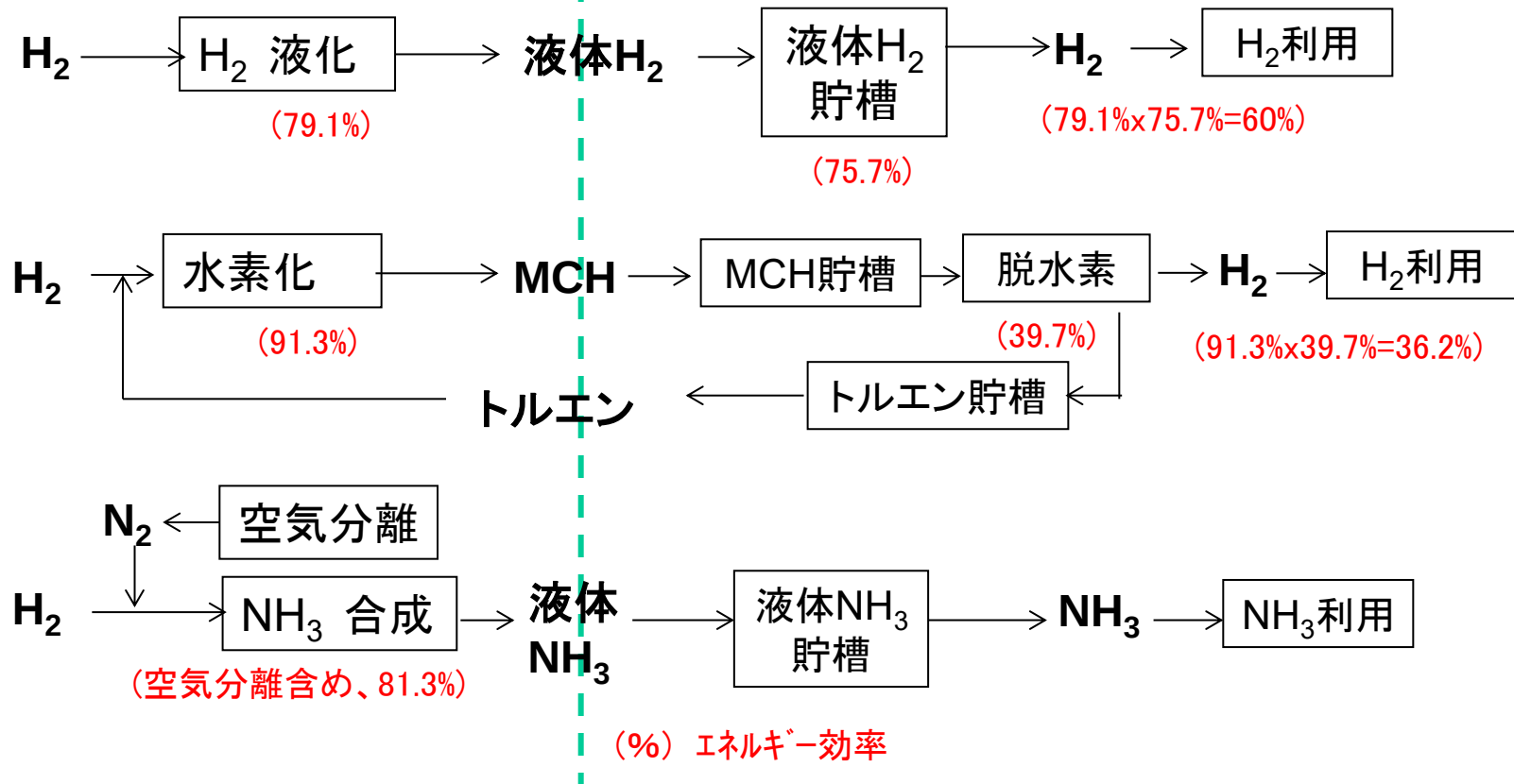
各種エネルギーキャリアの製造・輸送・利用、水素生成条件

		液体水素	MCH	アンモニア	LNG	メタノール	DME
製造	プロセス	液化	水素化	合成	メタン化/液化	合成	合成
	温度[°C]	-253	150-200	400-500	300-500/-161	200-300	240-280
	圧力[MPa]	常圧	3	20-30	0.5-8/常圧	8	5
輸送	貯蔵	低温常圧 液体水素貯槽	常圧常温貯槽	常圧低温貯槽 加圧常温貯槽	低温常圧 LNG貯槽	常圧常温貯槽	常圧低温貯槽 加圧常温貯槽
	海上輸送	低温液体水素 タンカー	常温常圧 タンカー	低温ケミカルタ ンカー	低温LNG タンカー	常温ケミカル タンカー	低温タンカー 加圧タンカー
	陸上輸送	低温液体水素 タンクローリー	タンクローリー	加圧 タンクローリー	低温LNG タンクローリー	タンクローリー	加圧 タンクローリー
燃焼 利用	直接燃焼 エンジン	安全性課題 SIエンジン	—	安全性課題 SIエンジン NOx除去	無煙燃焼 SIエンジン	無煙燃焼 SIエンジン	無煙燃焼 CIエンジン
H ₂ 生成	プロセス	気化	脱水素	熱分解 残留NH ₃ 除去	水蒸気改質	水蒸気改質	水蒸気改質
	温度[°C]	常温	320	700	900	250	350
	吸熱量 [kJ/molH ₂]	0.9	68.3	30.5	41.1	16.5	20.6

再生可能電力水素の各種キャリアのトータルシステム

- ・液体水素は、沸点が低く、輸送・貯蔵が難しい。エネルギー輸送密度が低い。
- ・MCH自体は燃料ではなく、脱水素反応により水素を生成し、トルエンが回収される。トルエンは水素化され、MCHとなる。エネルギー輸送密度が低い。
- ・アンモニアは、エネルギー輸送密度がやや低い。毒性に留意する必要あり。

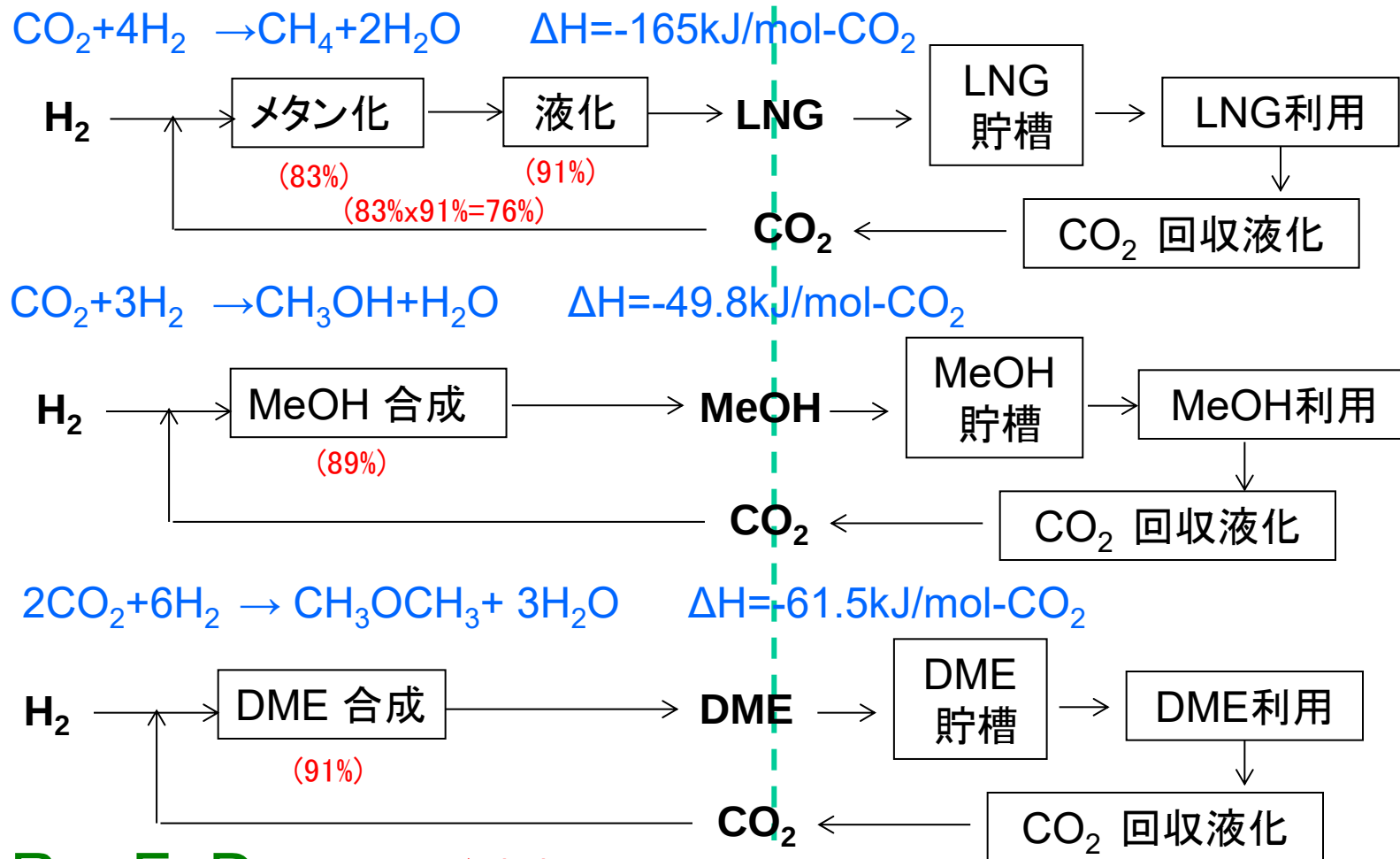
(海上輸送)



回収CO₂と再生可能水素から製造したエネルギーキャリアのトータルシステム

- ・メタン化反応は、発熱反応熱が大きく、反応器の温度制御が難しい。
- ・メタノールは、エネルギー輸送密度がやや低く、蒸発潜熱が大きい。

(海上輸送)



RenFuD (％) エネルギー効率