

褐炭ガス化ガスと再生可能電力水素から
DMEを製造し、日本に輸送して利用する
エネルギーシステム

レンファッド(株)

大野陽太郎、八木 宏

内容

- 未利用資源としての褐炭と風力発電電力
- 褐炭からのDME製造プロセス
- 風力発電電力水素と褐炭からのDME製造
- 日本への輸送と利用
- 発電利用とFCV用水素の生成
- エネルギー効率とCO₂排出量
- まとめ

褐炭の利用技術の展開とCO₂対策

・世界の石炭資源の約半分は褐炭であるが、水分が多く単位熱量当たりの輸送費が高つくことと、活性が高く乾燥すると自然発火の危険性が高いので、産炭地発電にその利用が限られている。

・輸送性改善対策：

改質炭(脱水、安定化)：ブリケット化、溶剤処理、油中改質(技術開発)
DMEの特性を生かした脱水(技術開発)

液体燃料化：豪州ビクトリア州で褐炭液化(技術開発プロジェクト)

褐炭をガス化・DME製造、日本へ輸送利用(FS)

褐炭をガス化・液体水素製造、日本へ輸送利用(FS)

DME、水素はクリーン燃料 (CO₂は、CCSを前提)

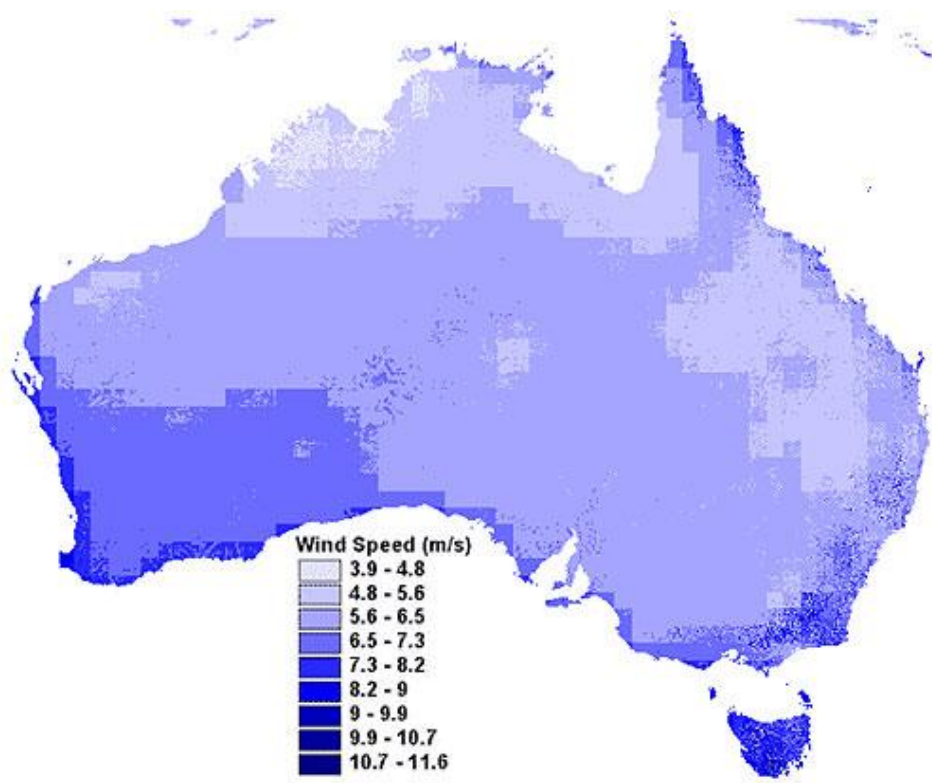
・CO₂排出対策： CCS

再生可能水素の利用(風力発電)

・褐炭と風力発電水素からDMEを製造、日本へ輸送・利用するシステムについて、シミュレーションにより、DME生産量、熱効率、CO₂排出量などを評価。

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。



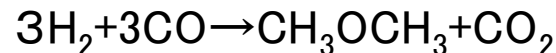
風力発電容量(MW)

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

褐炭からのDME製造プロセス

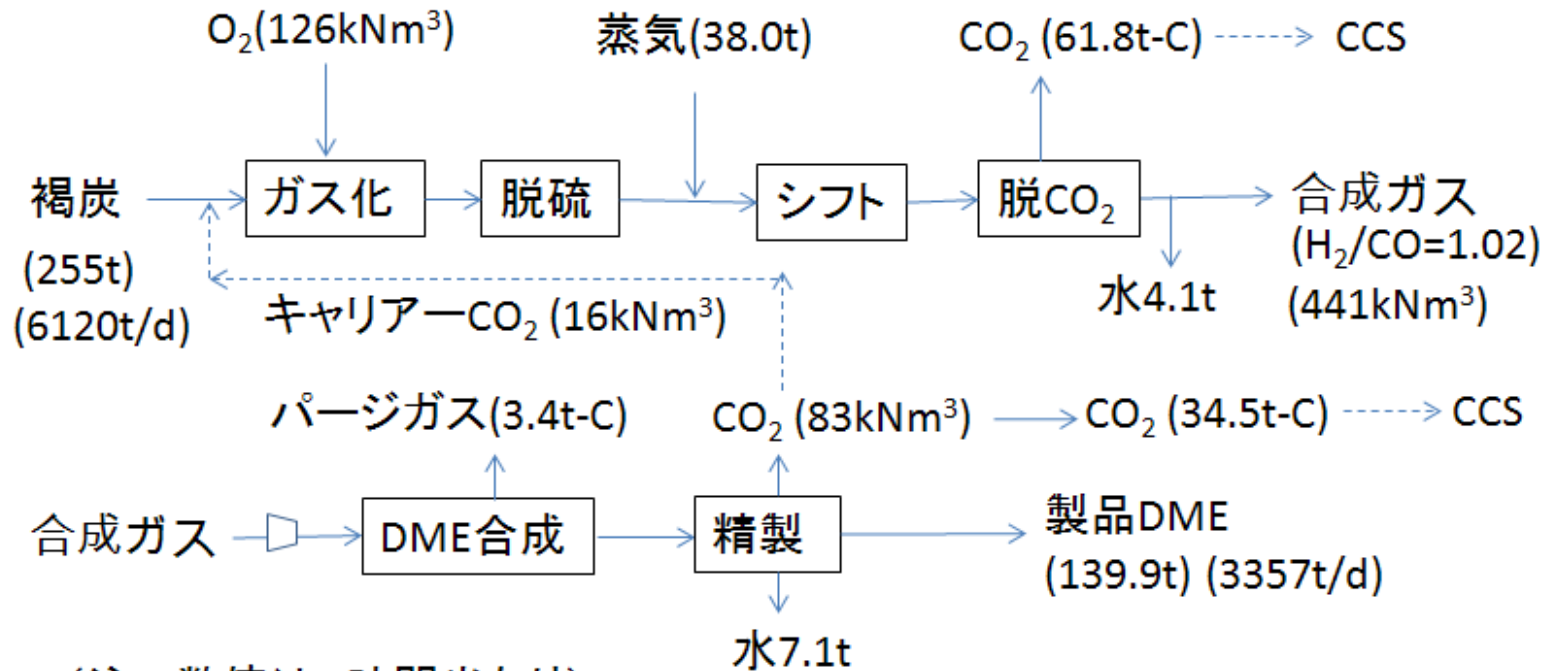
- [褐炭性状] 全水分60%、灰分2%、元素分析%(炭素67.8、水素4.6、窒素0.6、硫黄0.3、酸素24.4)、真発熱量25.5MJ/kg、灰の溶融点1290℃
- [褐炭ガス化] 褐炭を予備乾燥・微粉碎後、気流輸送によりガス化炉に輸送
キャリアーガスは、DME合成で副生するドライCO₂を利用
ガス化剤は純酸素、クエンチ前のガス化炉出口温度1340℃、
ガス化炉圧力3.5MPa
- [H₂/CO比調整] 生成ガスのH₂/CO比は、約0.43、冷却後、ガスを脱硫
基本ケース： シフト反応と脱炭酸により、H₂/CO=1に調整
ケースA： 風力水素を付加
ケースB： DME合成で副生するCO₂を活用、風力水素との
逆シフト反応で、H₂/CO比の高いガスを製造し付加
余剰CO₂は、14.9MPaに昇圧し、CCSで処理する
- [DME合成] 合成ガスを5.5MPaに昇圧し、スラリー床DME合成反応器で、
DMEを合成



褐炭からのDME製造プロセス(基本ケース)

・褐炭255t/h(無水基準)(6120t/d)から、DME139.9t/h(3357t/d)が製造される。
DME製造の冷ガス効率(製品DMEの熱量/原料褐炭の熱量)は、62.0%

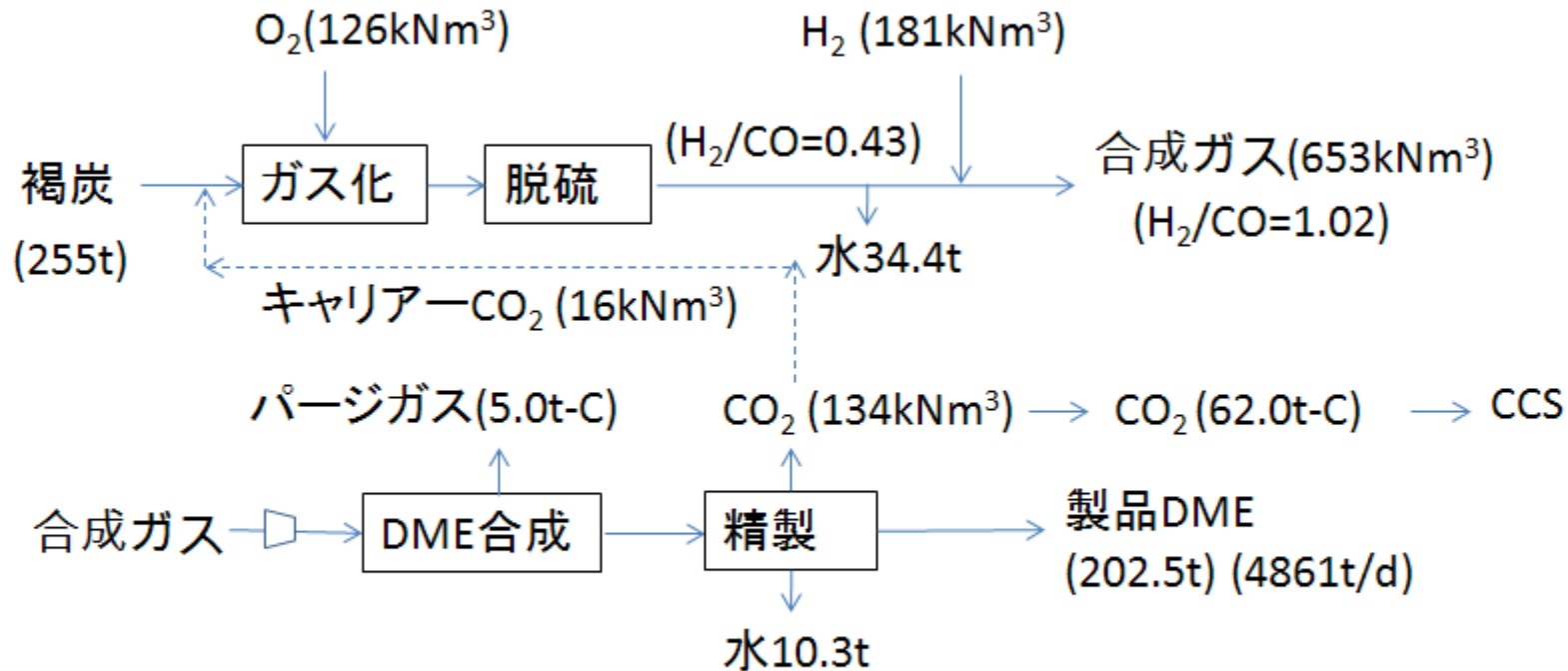
・原料褐炭に由来する炭素172.9t-C/hは、製造工程で58%がCO₂に転化する。
脱炭酸とDME精製工程からのCO₂は濃度が高いので、CCSに適している。
製造工程で生成するCO₂の96%が地下貯留される。



(注: 数値は、時間当たり)

風力水素のDME製造への利用(ケースA)

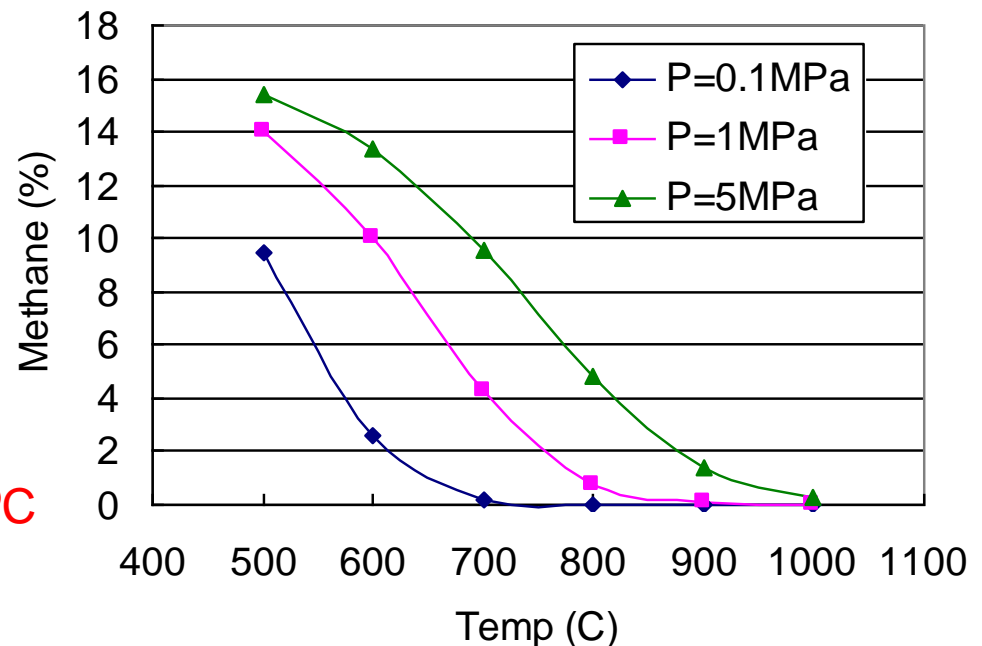
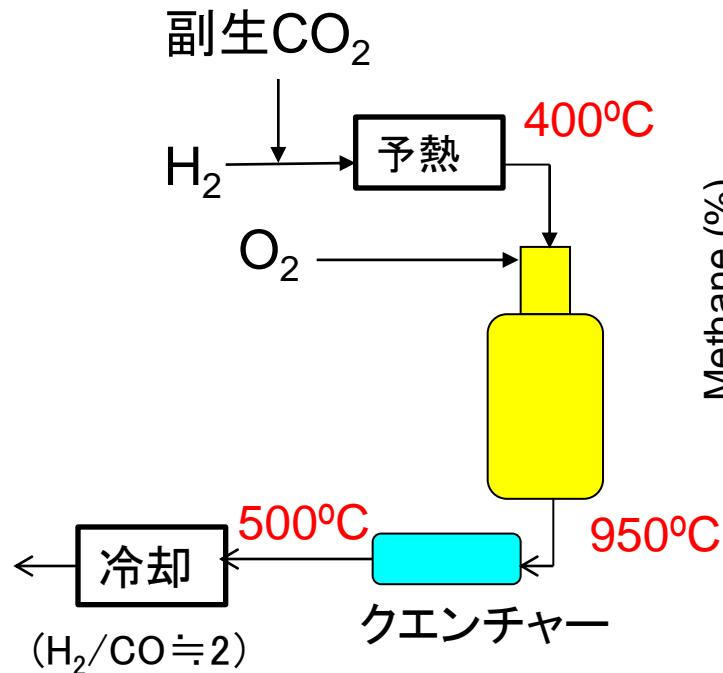
- ・系外よりH₂を付加することによりH₂/COを調整すると、シフト反応によるCO₂生成を避けることができる。COがそのまま、付加された水素と共に原料となり、DME製造量が増加。
- ・水電解の副生酸素がガス化に利用でき、酸素プラント負荷が低下。



(注: 数値は、時間当たり)

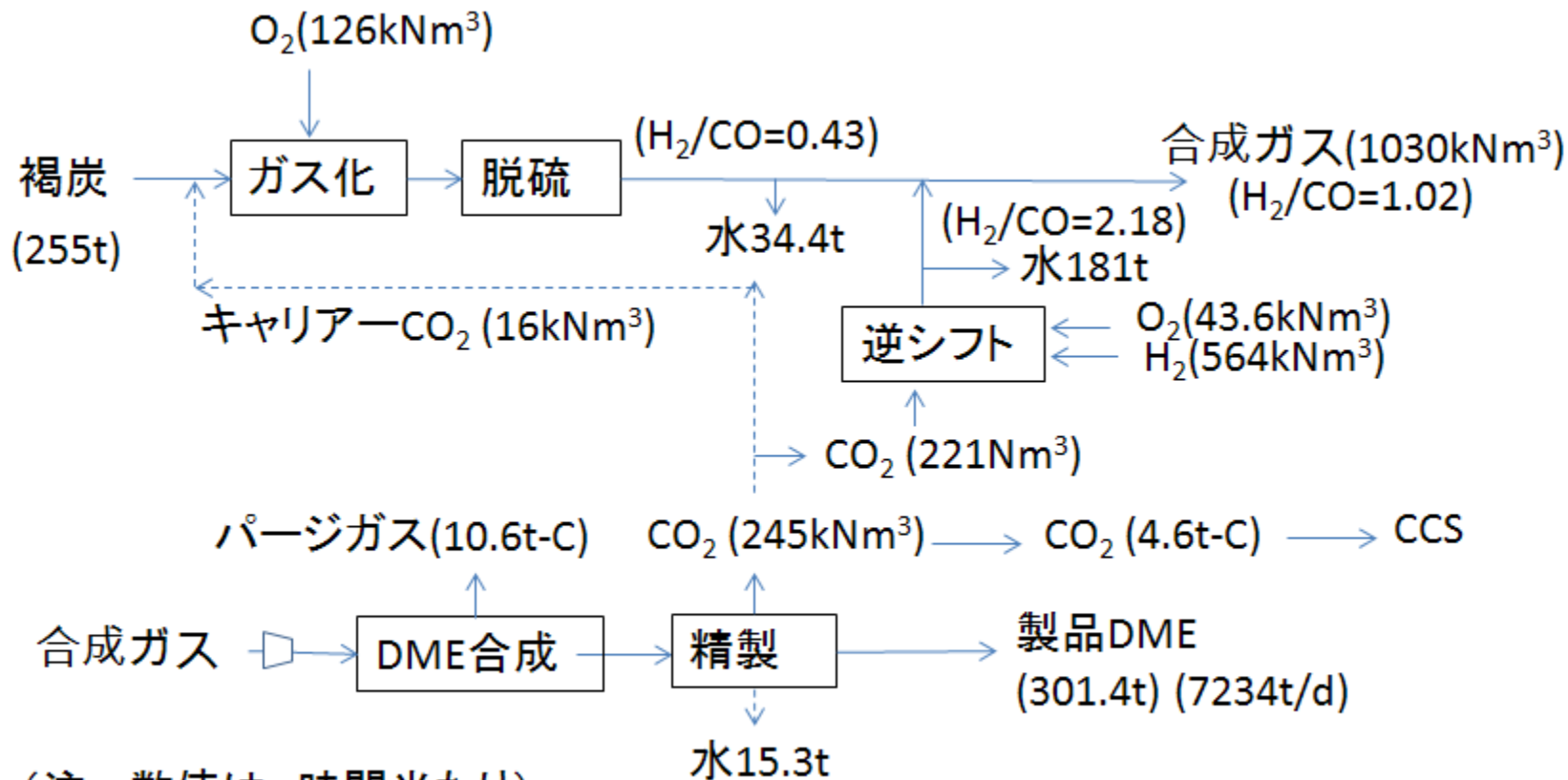
DME合成で副生するCO₂の活用(逆シフト反応)

- ・DME合成で副生するCO₂を水素と逆シフト反応させ、H₂/COの高いガスに変換し、ガス化炉からのH₂/COの低いガスに混合して、H₂/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H₂/CO₂混合ガスは400°Cに予熱する。N₂などの微量成分の系内蓄積を避けるため、CO₂の利用率は、副生量の約90%とした。



風力水素のDME製造への利用(ケースB)

・DME合成で副生するCO₂を原料として使用、付加された水素とCO₂が原料となり、DME製造量は7234t/dに増加し、褐炭のみを原料とした基本ケースの2.15倍になる。CCS処理必要量も約3%と微量(実際的には不要)。



(注: 数値は、時間当たり)

日本への輸送と利用

DMEは沸点 -25°C 、蒸気圧 $0.53\text{MPa}(20^{\circ}\text{C})$ で、液体水素に比べ輸送は容易

[海上輸送] 低温LPG船が利用でき、海上輸送に必要なIGCコードも得られている。輸送距離片道4800海里、20万KL低温船輸送を想定し評価。

[陸上輸送] LPGローリーを利用。輸送距離片道100kmを想定し評価。

[発電燃料利用]

DMEガスの燃焼特性は、天然ガスと同等である。発電の CO_2 排出原単位は、コンバインド発電で発電効率を55%とすると、 119g-C/kWh と、天然ガスの 101g-C/kWh より高いが、改質炭として発電効率43%の超臨界石炭火力で使用した場合の 223g-C/kWh に比べ圧倒的に低い。

[ディーゼルエンジン燃料]

PMを発生せず、動力当りの CO_2 排出量は軽油より低い。DME自動車は実証試験を経て、国土交通省通達により一般登録が可能となっている。

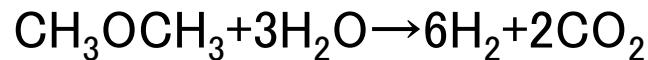
[水素利用]

350°C 程度の温度で、水蒸気改質されるので、水素ステーション用の燃料としても有望である。

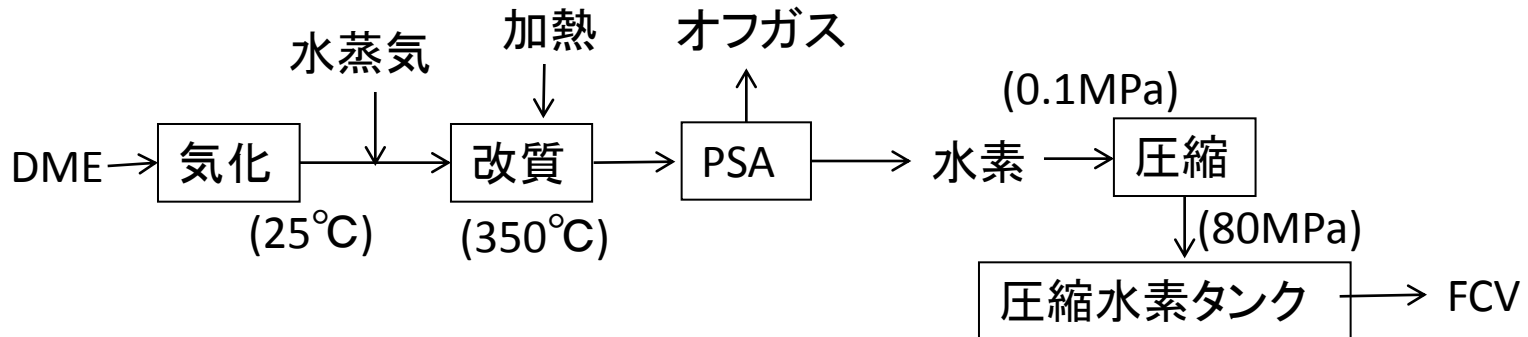
DMEの水素ステーション利用

・液体DMEは、気化後、水蒸気と混合され、改質反応で水素に改質される。改質生成ガスは、PSAで高純度水素とオフガスに分離される。高純度を得るための水素の回収率は、70%程度である。

改質段階で必要な熱は、PSAオフガス及び改質器排熱により賄われる。DMEから高純度水素までの熱効率率は76.5%である。



・水素はFCV供給高圧タンク用に、80MPaに加圧される。圧縮を含めた供給系の電力消費量は大きく、供給水素の熱量の32%に達する。DMEからのFCV用水素までの熱効率率は、 $0.765 \times (1 - 0.32) = 52\%$ となる。



DME製造から利用までのエネルギー効率の比較

- ・冷ガス効率は、製品DMEの熱量/(褐炭の熱量+水素の熱量)で計算。褐炭のみの場合よりも、冷ガス効率は69.0%と増加している。
- ・国内供給段階の熱効率は、60%程度である。水素ステーションを想定した総合効率では、DME改質に加え、水素加圧のエネルギー消費が大きく、30%程度に低下している。

		基本	ケースA	ケースB	液体水素
風力水素	kNm ³ /h	0	181	564	0
DME製造量	t/h	139.9	202.5	301.4	(水素)32.1
製造冷ガス効率	%	62.0	68.9	69.0	59.7
製造熱効率	%	58.3	62.2	57.9	41.7
供給段階熱効率	%	57.6	61.5	57.3	29.0
発電量	MW	615	891	1326	429
水素供給量	kNm ³ /h	195	282	419	190
総合熱効率	%	29.9	31.9	29.7	21.0

CO₂排出量の比較

- ・ ケースBでは、原料褐炭に由来する炭素172.9t-C/hのうち、8.8%の15.2t-C/hが系外に排出されるだけで、91.2%は製品DMEの製造に有効利用される。
- ・ 輸送段階のCO₂排出量は、製造、利用段階に比べ、相対的に少ない。

		基本	ケースA	ケースB	液体水素
CCS(t-C/h)		96.3	62.0	4.6	146.8
CO ₂ 排出 (t-C/h)	製造段階	3.4	5.0	10.6	37.8
	海上輸送	1.6	2.3	3.4	7.6
	陸上輸送	0.7	1.0	1.5	0.7
	使用段階	73.0	105.7	157.3	0
	合計	78.7	114.0	172.8	46.1
発電量当り全排出量(g-C/kWh)		127	127	129	106

まとめ

- ・CO₂排出対策を考慮した上でのエネルギー供給確保の手段として、未利用資源の豪州褐炭と風力水素からのDME製造と日本への輸送・利用可能量、熱効率とCO₂排出量の試算を行った。
- ・風力水素を活用することにより、CCS処理量が低減し、DME製造量が増加する。DME合成の副生CO₂を逆シフト反応により活用した場合は、製造段階のCO₂排出量は微量で、CCS処理は実際的には不要と考えられる。
- ・DME製造の熱効率は約60%で、輸送段階のエネルギー消費は小さい。
- ・DMEを日本に輸送、発電利用した場合、国内CO₂排出量は、119g-C/kWhと、改質炭火力の223g-C/kWhに比べ圧倒的に低い。
- ・FCV用水素生成については、水素加圧段階のエネルギー消費が大きい。
- ・DMEの製造から輸送・利用に至る技術は確立されており、エネルギーの大宗を輸入している日本にとり、本システムは、一つの選択肢と考えられ、より詳細な検討が期待される。