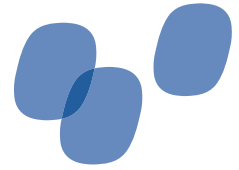


**LCS**



低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

**バイオマスのガス化ガスおよび捕集 CO<sub>2</sub> を  
利用したメタノール、液体燃料の生産**

平成 30 年 1 月

**“Production of Methanol and Liquid Fuels from Gasification  
of Biomass or Captured CO<sub>2</sub>”**

Strategy for Technology Development

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構  
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2017-PP-09

## 概要

将来化石資源の利用が制限されたとき、炭素源として、バイオマスもしくは捕集された CO<sub>2</sub> が有力な原料となる。今回は化学品合成のための基幹製品のひとつであるメタノール、およびガソリン・ディーゼルなどの液体燃料を生産する場合のコスト・課題など検討した。

バイオマスのガス化で得られるガスを利用した場合、バイオマス価格を 19¥/kg-dry とするとき、メタノールコストは、75¥/kg (3.4¥/MJ) となった。現状の市況価格の 3 倍である。うち 88% はバイオマスガス化ガスのコストである。また、F-T 合成で液体燃料を製造する場合、液体燃料コストは 5¥/MJ と高い。技術・システム開発により、林業を合理化しバイオマスのコストを下げる必要がある。

## Summary

In the future, when the use of fossil fuels as a source of carbon will be restricted, biomass or captured CO<sub>2</sub> will be powerful substitutes. We examined the problems and costs associated with the production of methanol and liquid fuels such as gasoline and diesel from the gasification of biomass or captured CO<sub>2</sub>. The cost of methanol production using gasified biomass was 75¥/kg (3.4¥/MJ), which is three times the current market price, taking the biomass price as 19¥/kg-dry. As much as 88% of this cost is from gasifying the biomass. The cost of liquid fuel production by Fischer-Tropsch synthesis is as high as 5¥/MJ. It will be necessary to reduce the cost of biomass by further developing technology and systems, and thereby streamline logging.

## 目次

### 概要

1. 目的 .....	1
2. メタノール合成 .....	2
3. F-T 法による液体燃料合成 .....	4
4. 今後の課題と政策立案のための提案 .....	6
参考文献 .....	7

## 1. 目的

将来化石資源の利用が制限されたとき、炭素源として、バイオマスもしくは捕集された CO<sub>2</sub> が有力な原料となる。今回は化学品合成のための基幹製品のひとつであるメタノール、およびガソリン・ディーゼルなどの液体燃料を生産する場合のコスト・課題など検討した。

メタノールからの有望な製品は、MTO(methanol to olefin)プロセスによるエチレン、プロピレン、および Formaldehyde、DMT(dimethyl terephthalate)など多数の誘導品がある。

液体燃料は、F-T(Fischer-Tropsch)合成により生成できるが、生産物は C<sub>5</sub>~C<sub>50</sub> に広く分布する。

原料としてバイオマス 2,000t-dry/日を使用してガス化するとき、メタノールを 1,120t/日生産可能である<sup>1)</sup>。このメタノールを用いて MTO プロセスでは、エチレン 190t/日およびプロピレン 190t/日など生産可能である。また、FT 合成の時、ガソリン 77t/日、ディーゼル 62t/日、およびワックス 150t/日など生産可能である<sup>2)</sup>。

MTO プロセスについては、次期提案書に記載する。

また、国内でのバイオマスの供給可能量<sup>[1]</sup>であるが、人工林面積 (10.3Mha) の 10~12 齢級の木質バイオマスの年間生産可能量は、約 93Mm<sup>3</sup>/年<sup>3)</sup>である。間伐材を含めると、約 120Mm<sup>3</sup>/年<sup>3)</sup>が伐採可能である。また木材比重を 0.65t-空気乾燥/m<sup>3</sup> (針葉樹ベース：含水率 20%) とすると、伐採可能量は 62.4Mt-dry/年 (171kt/日) となる。

このバイオマス伐採可能量を建材、燃料、ガス化原料などに分け合うことになる。

バイオマス、CO<sub>2</sub> の利用フローを図 1 に示す。今回はメタノール合成と F-T 合成につき検討する。

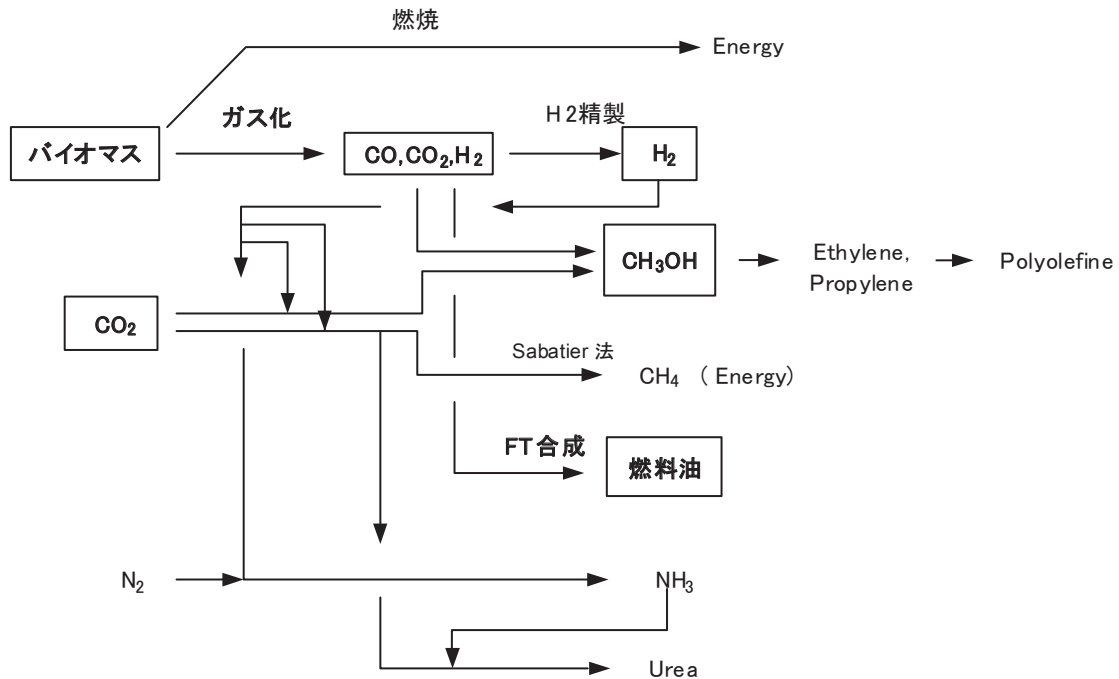


図 1 バイオマス、CO<sub>2</sub> の利用フロー

<sup>1)</sup> 95%CH<sub>3</sub>OH が 49t/hr 生産可能 (後掲の図 2 参照)。

<sup>2)</sup> ガソリン 3.2t/hr、ディーゼル 2.6t/hr、ワックス 6.3t/hr 生産可能 (後掲の図 3 参照)。

<sup>3)</sup> LCS にて計算。

## 2. メタノール合成

バイオマスをガス化し精製・変性したガスを原料とする場合（以下、バイオマスガス化ケース）[2]、および捕集された CO<sub>2</sub> とカーボンフリーな H<sub>2</sub> を原料とする場合（以下、貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケース）[3]につき検討した。反応条件を表 1 に示す。バイオマスガス化ケースは通常の反応条件で合成できるが、貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースでは反応が遅く、高圧(9MPa)が必要であり、かつ触媒層の空間速度を小さくする必要がある。また転化率が小さいため循環ガス量が大きく圧縮機など設備費が高くなる。

表 1 バイオマスガス化ケースと貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースの反応条件の比較

	バイオマスガス化ケース	貯留 CO <sub>2</sub> 利用ケース*
触媒	Cu/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
空間速度 SV	8,000~10,000hr <sup>-1</sup>	2,000hr <sup>-1</sup>
温度/圧力.	250°C/5MPa	240°C/9MPa
転化率 Conv./選択率 Sel.	70% / 99%	21% / 95%
触媒層体積	23m <sup>3</sup>	272m <sup>3</sup>

\*三菱重工技報, Vol.(6)384 (1998)[3]を参考にした。

バイオマスガス化ケースのプロセスフローを図 2 に示す。

メタノール合成条件は、5MPa、250°C、Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系触媒、SV10,000hr<sup>-1</sup>、Conv.70%、Sel.99%とした。また、反応ガス組成比 M (= (H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>) / (CO+CO<sub>2</sub>))は 2.0 とした<sup>4)</sup> (図 2 参照)。反応後ガスを冷却・凝縮・蒸留し 95%CH<sub>3</sub>OH を得る。反応熱はスチームで回収し、蒸留塔リボイラーの熱源の一部とする。

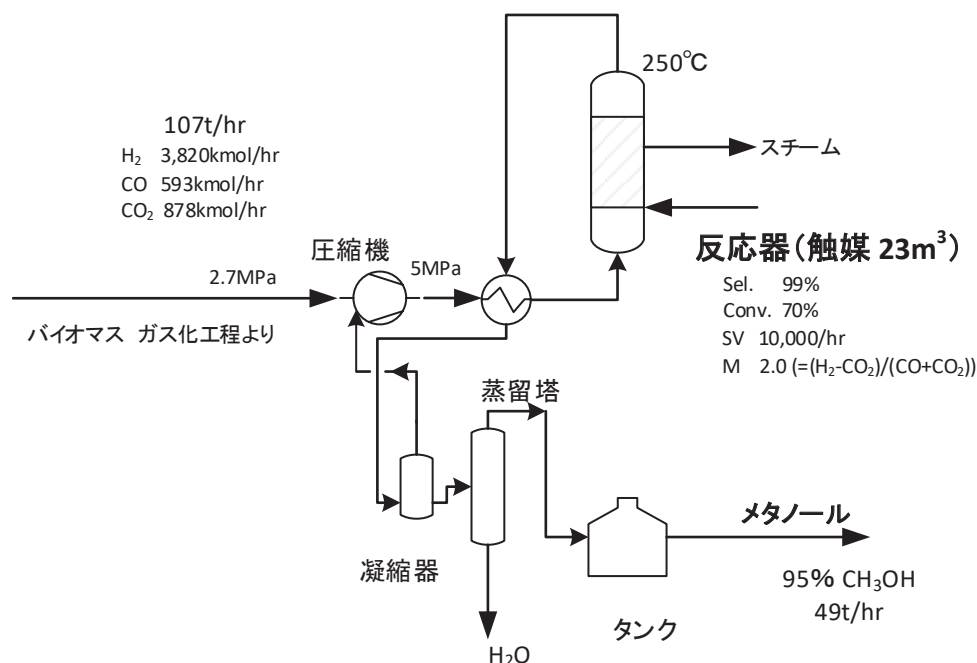


図 2 メタノールプロセス（バイオマスガス化ケース）

<sup>4)</sup> 原料バイオマス使用量 2,000t-dry/日。

両者の機器仕様、機器費などを表 2（バイオマスガス化ケース）、表 3（貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケース）に示す。表 4 に両者のメタノール製造コストを示す。

表 2 機器仕様と価格（バイオマスガス化ケース）

機 器	仕 様	価格(M¥)
コンプレッサー	2段(27K,50K) 7840kmol/hr (9960kmol/hr)	4800kW 301
反応器	50K 250°C sv=10000hr <sup>-1</sup> Cat.23m <sup>3</sup> D=2.7m H=7m t=50mm 28.4t	40m <sup>3</sup> 34
蒸気発生装置	除熱量 73×10 <sup>3</sup> MJ/hr 37.3t/hr 200°C 15K stm	400m <sup>2</sup> 12
ガス-ガス熱交換器	250-80°C 70-161°C 30W/m <sup>2</sup> K	6600m <sup>2</sup> 167
コンデンサー	198×10 <sup>3</sup> MJ/hr 10°C冷水 198×10 <sup>3</sup> MJ/hr	1990m <sup>2</sup> 52
蒸留装置	3.4mφ×7.2mH	65m <sup>3</sup> 17
コンデンサー	Δt=10°C 850W/m <sup>2</sup> K 10°C冷水 99×10 <sup>3</sup> MJ/hr	1620m <sup>2</sup> 38
リボイラー	Δt=80°C 1100W/m <sup>2</sup> K 99×10 <sup>3</sup> MJ/hr 150°C 5K	314m <sup>2</sup> 9
冷凍機	負荷 55×10 <sup>3</sup> kW COP=3	17800kW 84
メタノールタンク	1800m <sup>3</sup>	55
計		769

表 3 機器仕様と価格（貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケース）

機 器	仕 様	基数	価格(M¥)
コンプレッサー	2MPa→9MPa 5.4Mmol/hr 8MPa→9MPa 18.9Mmol/hr	8900kW 1基	742
反応器	9Mpa 240°C SV 2000hr <sup>-1</sup> conv.21% D=3m H=25m t=0.12m	290t/基 2基	464
スチーム発生設備	3.4MPa スチーム発生 36t/hr	210m <sup>2</sup> /基 2基	14
反応ガス熱交換器	原料ガス50°C→150°C 反応ガス240°C→127°C U=30W/m <sup>2</sup> /K	4400m <sup>2</sup> /基 2基	162
CH <sub>3</sub> OH 凝縮器	101GJ/hr 850W/m <sup>2</sup> /hr/K	770m <sup>2</sup> /基 2基	30
蒸留塔	feed 64t/hr(CH <sub>3</sub> OH 64%)→82% H=7.2m D=3.4m	65m <sup>3</sup> 1基	17
蒸留塔リボイラー	U=1100W/m <sup>2</sup> /K	300m <sup>2</sup> 1基	9
蒸留塔コンデンサー	U=850W/m <sup>2</sup> /K	1400m <sup>2</sup> 1基	38
冷水器	吸収式 COP=1.6 6200RT	15100kW 1基	54
CH <sub>3</sub> OH タンク	1800m <sup>3</sup> (1日分)	1基	55
計			1585

表 4 メタノール製造コスト（メタノール生産量：368kt/年）

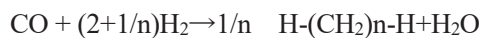
	バイオマスガス化 ケース		貯留CO <sub>2</sub> 利用 ケース		備 考
機器費	769 M¥		1585 M¥		
建設費	2310 M¥		4755 M¥		機器費×3
労務費	45 M¥		45 M¥		9人×5 M¥/人
		メタノールコスト(¥/kg)		メタノールコスト(¥/kg)	
変動費	原単位(/kg)		原単位(/kg)		単 価
原料(H <sub>2</sub> 換算)	22.8 MJ	66.1	23.0 MJ	66.7	2.9 ¥/MJ
原料(CO <sub>2</sub> )			1.4 kg	8.4	6 ¥/kg
電力	0.55 kWh	6.6	0.59 kWh	7.1	12 ¥/kWh
熱量	0.65 MJ/kg	1.0	0.65 MJ/kg	1.0	1.5 ¥/kWh
小計		73.7		83.2	
固定費					
設備対応	347 M¥/年	0.9	713 M¥/年	1.9	年経費率 0.15
労務費対応	45 M¥/年	0.1	45 M¥/年	0.1	
小計		1.0		2.0	
計		74.7¥/kg (3.4¥/MJ)		85.2¥/kg (3.9¥/MJ)	

メタノール製造コストは、バイオマスガス化ケースで 74.7¥/kg<sup>5)</sup>、貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースで 85.2¥/kg であり、両者共コストの大部分は変動費である。

貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースでは捕集 CO<sub>2</sub> の原料コストが 8¥/kg、および設備対応の固定費が 1¥/kg 高く、バイオマスガス化ケースに比べ約 11¥/kg 製造コストが高い。エネルギーで評価するとき、バイオマスガス化ケースでは 3.4¥/MJ である。貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースでは 3.9¥/MJ であるが、使用後の排出する CO<sub>2</sub> を回収貯留する必要があり、CCS コストを 5¥/kg-CO<sub>2</sub> とすると更に 0.2¥/MJ 程度コストが上昇するため、バイオマスガス化ケースに対して優位性はない。

### 3. F-T 法による液体燃料合成 [4],[5]

Fisher-Tropsch 合成で液体燃料を生産する。反応は次のとおりである。



ここでは、次の 2 つの反応が進行し、発熱量が大きい。



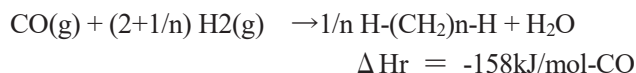
触媒には、Fe ベース cat.、Co ベース cat.、Ni ベース cat.(1-10bars)、Ru ベース cat.(低温触媒) と順次開発されてきた。

FS で採用した反応条件は、次のとおりである。

Cat. : Co-based catalyst、圧力・温度 : 2.2MPa・215°C

生成物は、C5 ~ C50 に広く分布する。

ガソリン成分の C5 ~ C10 で考えるとき、生成反応は次のとおりである。



発熱量が大きく、触媒の劣化 (carbon deposition, Sintering など) が大きく、触媒寿命は 40 日程度 (moving fluidized bed reactor) と短い。反応器タイプとして、固定床、流動床、スラリータイプなどがあるが、触媒の抜き出し・新規供給が容易なスラリータイプで検討した。

FS では、バイオマス使用量 2,000t-dry/d のガス化工程のシフト反応入り口のガスをシフト反応で H<sub>2</sub>/CO=2.1 に調整した後 (後掲の図 3 参照)、F-T 合成を行う。

プロセスフローを図 3、機器仕様と価格を表 5、液体燃料の製造原価を表 6 に示す。

<sup>5)</sup> バイオマスガス化ケースでは、出発原料であるバイオマスの価格を 19¥/kg-dry として計算した。

Fischer-Tropsch 合成  
 (液相流動触媒法—Rheinpreussen Koppers法)

反応条件  
 2.2MPa 215°C  
 Co系触媒 (Co-Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

CO 転化率 86%  
 GHSV 0.2m/s  
 Cat.濃度 17vol%

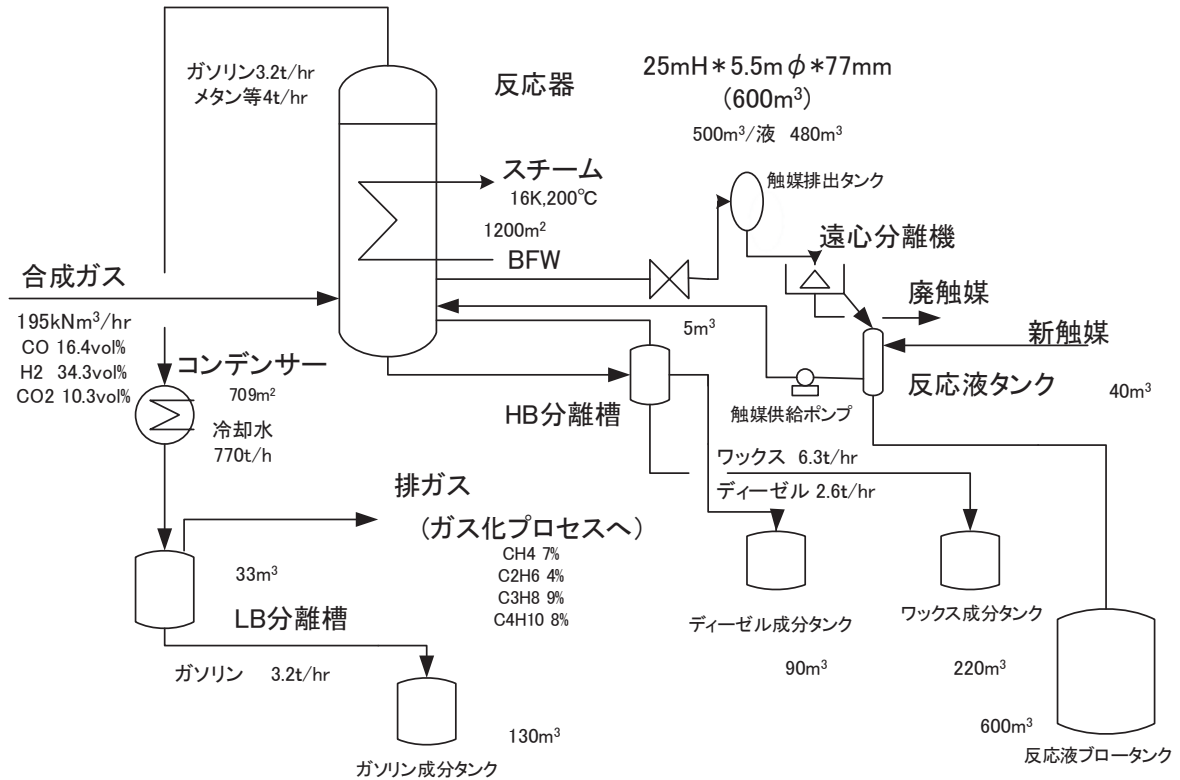


図 3 F-T 合成 プロセスフロー

表 5 機器仕様と価格

機器名	仕様	価格 (M¥)	備考
スラリー反応器	25mH × 5.5mφ 厚み77mm	147	0.5¥/t
熱交換器 (除熱)	16K 200°Cスチーム生成 100t/hr 1200m <sup>2</sup>	28	
コンデンサー	除熱 64.6 × 10 <sup>3</sup> MJ/hr 709m <sup>2</sup>	20	
LB分離槽	33m <sup>3</sup> (高圧)	11	
HB分離槽	5m <sup>3</sup> (高圧)	2	
ガソリン成分タンク	130m <sup>3</sup> 3.2t/hr	16	
ディーゼル成分タンク	90m <sup>3</sup> 2.6t/hr	12	
ワックス成分タンク	220m <sup>3</sup> /h 6.3t/hr	19	
反応液タンク	40m <sup>3</sup>	8	
遠心分離機	24時間でCAT.分離 20m <sup>3</sup> /hr	51	
反応液ブロータンク	600m <sup>3</sup>	32	
触媒排出タンク	10m <sup>3</sup>	3	
触媒供給ポンプ	300 l/min, 23K	1	
計		350	



表 6 F-T 合成 液体燃料製造原価

機器費	350 M¥			
建設費	1050 M¥			機器費 × 3
コスト				
変動費	原単位	単価	コスト(¥/kg)	
合成原料	93.0 MJ/kg	2.9 ¥/MJ	269.7	
副生蒸気	△ 16.7 MJ/kg	1.5 ¥/MJ	-25.1	
副生排ガス	△ 15.9 MJ/kg	1.5 ¥/MJ	-23.9	
温水	0.0664 m <sup>3</sup> /kg	50 ¥/m <sup>3</sup>	3.3	
触媒	5.4 kg/t	3000 ¥/kg	16.2	
変動費計			240.2	
固定費	(液体燃料生産量 87.1kt/年)			発熱量: 44.7 MJ/kg
設備対応	158 M¥/年		1.8	年経費率 0.15
人対応	45 M¥/年		0.5	9人 × 5 M¥/人・年
固定費計			2.3	
製造原価			242.5	5.4 ¥/MJ

反応は 2.2MPa、215℃であり、供給ガスは 2.7MPa であるので、コンプレッサーは必要ない。反応での CO 転化率は 86%であり、触媒の寿命は 60 日とした。

反応器はスラリータイプを採用し、1 日に 1 回リアクターから液を抜き出し触媒を更新する。反応器には触媒 90t 添加されているので、1.5t/日 (8m<sup>3</sup>/日-cat.濃度 1.7vol%) を抜き出し新触媒と更新する必要がある。

生成物は 17.1t/hr であり、gasoline(C5-C11)19wt%、diesel(C12-C18)15wt%、Wax(C19+)37wt% である。また他に水が 22.0t/hr 生成する。

生成物の単位熱量は、44.7MJ/kg であり、生成物の全熱量は 519 × 10<sup>3</sup> MJ/hr (ガソリン換算 11.6t/hr) となる。供給ガス (反応ガス) の熱量は 1,127 × 10<sup>3</sup> MJ/hr であるので、反応効率率は 46%である。(原料バイオマスベースでは、供給熱量は 1,560 × 10<sup>3</sup> MJ/hr であり、効率は 33%である。)

液体燃料のコストは 242.5¥/kg で、熱量評価では 5.4¥/MJ となった。メタノールと比較して高価であり、今後触媒が飛躍的に高性能化 (目的製品の収率向上・製造コスト低下・耐久性向上) しなければ、使用分野は特殊なものに限定される。また、原料のバイオマスも非常に安価なケースでしか成り立たないが、その実現の可能性はある[6]。

#### 4. 今後の課題と政策立案のための提案

- 1) バイオマスガス化ケースでは、出発原料であるバイオマスの価格を 19¥/kg-dry として計算した。結果としてメタノールのコストは、市況価格 27¥/kg の約 3 倍の 74.7¥/kg (3.4¥/MJ) となった。大部分は変動費であり、本技術を実現可能とするには、バイオマス価格を 1/2 以下にする必要があり、これは実現可能な範囲である。
- 2) 貯留 CO<sub>2</sub> 利用ケースでは、メタノールのコストは 85.2¥/kg (3.9¥/MJ) となった。このケース

では、使用後の排出する CO<sub>2</sub> を回収貯留する必要があり、CCS コストを 5¥/kg-CO<sub>2</sub> とすると更に 0.2¥/MJ 程度コストが上昇するため、バイオマスガス化ケースに対して優位性はない。しかし CCS の重要度が高い状況では、引き続き技術開発を行う意義はある。その場合の技術課題は、反応性能のよい触媒の開発である。

- 3) F-T 合成では、液体燃料のコストは 242.5¥/kg (5.4¥/MJ) となった。メタノールと比較して高価であり、使用分野は制限される。または、バイオマスが非常に安価なケースでしか成り立たないが、実現可能な範囲である。技術・システム開発により、林業を合理化しバイオマスのコストを下げる必要がある。更に、本技術の普及のためには、生成物の C 分布の狭い選択性のよい触媒開発、および 1 年以上劣化しない触媒・反応方式の開発が必要である。

## 参考文献

- [1] 林野庁統計, “都道府県別森林率・人工林率 (平成 24 年 3 月 31 日現在)”, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h24/1.html> (アクセス日 2017 年 11 月 1 日) .
- [2] “Large Scale Methanol Production from Natural Gas”, Research/Technology/Catalyst, Haldor Topsoe, 2008.
- [3] 今井哲也, 安武聡信, 黒田健之助, 平野正樹, 赤野徹, “炭酸ガスと水素からメタノール合成プロセスの開発”, 三菱重工技報, Vol.35, No.6, 384-387, 1998.
- [4] “Fischer-Tropsch Synthesis:Catalysts and Chemistry”, Comprehensive Inorganic Chemistry II: From Elements to Applications”, vol.7, pp.525-557, 2013.
- [5] “Reactor Modeling of a Slurry Bubble Column for Fischer-Tropsch Synthesis”, J.M.Schweitzer, J.C.Viguie Oil&Gas Science and Technology-Rev.IFP, Vol.64, No.1, 2009.
- [6] 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書, 技術開発編, “木質バイオマス燃料のコスト低減(Vol.2) –木質バイオマスの生産総コストとその低減策–”, 科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2017 年 3 月.

---

---

低炭素社会の実現に向けた  
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく  
イノベーション政策立案のための提案書

技術開発編

バイオマスのガス化ガスおよび捕集 CO<sub>2</sub> を  
利用したメタノール、液体燃料の生産

平成 30 年 1 月

“Production of Methanol and Liquid Fuels from Gasification  
of Biomass or Captured CO<sub>2</sub>”  
Strategy for Technology Development,  
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action  
toward Low Carbon Societies,  
Center for Low Carbon Society Strategy,  
Japan Science and Technology Agency,  
2018.1

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

---

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 岩崎 博 (Hiroshi IWASAKI)  
上席研究員 三森 輝夫 (Teruo MITSUMORI)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階  
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp  
<http://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2018 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。  
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

---

---