

PCEC を用いたメタン混合ガス製造システム構成の検討

-燃料供給割合・システム効率の検討-

Study on methane mixed gas production system configuration using PCEC

-Simulation of fuel supply ratio and system efficiency-

○青柳徹¹, 辻健太郎², 直井和久², 塩野光弘², 吉川将洋²*Tetsu Aoyagi¹, Kentaro Tsuji², Kazuhisa Naoi², Mitsuhiro Shiono², Masahiro Yoshikawa²

Abstract

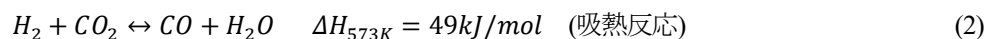
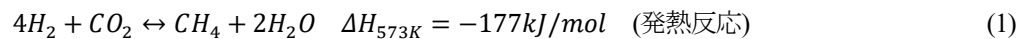
Currently, hydrogen methanation technology, which reacts hydrogen produced from surplus electricity with carbon dioxide, is attracting attention. In this paper, we investigated a methane mixed gas production system using PCEC, which has a lower operating temperature than SOEC. As a result, it was found that the suitable ratio of H_2/CO_2 is 4 for the fuel supply. In addition, the efficiency of the methane production system was calculated 76.1% when the 10% heat loss in the system was assumed and the operating temperature of PCEC was 600°C.

1.はじめに

現在,余剰電力から水素を製造し既存のインフラを活用できる水素のメタン化技術が注目を集めている.ドイツの自動車メーカーAudiはPtGプラントとして水電解装置による水素製造とサバティエ反応を利用したメタン合成プラントを運用しており,その製造効率は54%と報告している^[1].本稿では,システムの高効率化が期待できる燃料電池PCFC(プロトン伝導型セラミック燃料電池)で水蒸気電解を行い水素を製造し,二酸化炭素と反応させるサバティエ反応を利用したメタン混合ガスを製造するシステムの検討結果を報告する.

2. PCEC(プロトン伝導型セラミック電解槽)を用いたメタン混合ガス製造システム構成

まず,メタン生成器では式(1)に示すサバティエ反応と式(2)に示す水性シフト反応のみが起こると仮定して,その反応はそれぞれ平衡に達するものとし, H_2/CO_2 供給量を選定するため4つ流量比で検討を行った.サバティエ反応の反応温度は約350°Cとされているが,宇宙航空研究開発機構が低温での反応の高効率化を維持できる触媒の開発に成功した^[2]ことから,メタン生成器の温度は300°Cとして計算を行った.



次に,システムは,PCEC,メタン生成器,熱交換器,蒸気発生器,ドレン,昇圧ポンプで構成し,熱交換器での熱損失を10%と仮定した.また,メタン生成器における反応に伴う発熱は蒸気発生器の熱源として利用し,足りない熱量はヒーターで補うものとした.PCECを用いた水蒸気電解により生成された水素は昇圧ポンプを用いてメタン生成器に供給し,二酸化炭素は直接メタン生成器に供給するものとした.PCECの運転温度は600°Cとし,電解電圧は過電圧による発熱と反応に伴う吸熱が釣り合い温度が維持されるサーモニュートラル電圧として式(3)から算出し,電解電流はPCFCの水蒸気利用率を80%と仮定して式(4)より算出した^[3].

$$E_{th} = \frac{\Delta H_T}{2F} \quad (3) \quad \frac{I}{2F} = \dot{m}_{H_2O} \times U_{steam} \quad (4)$$

E_{th} : 電解電圧, F : ファラデー定数, ΔH_T : 温度 T における H_2O のエンタルピー, I : 電解電流, \dot{m}_{H_2O} : 供給モル数, U_{steam} : 水蒸気利用率

3.結果

3-1. H_2/CO_2 供給量

Fig.1は水素と二酸化炭素の供給比別のメタン生成量の変化を示すグラフである.Fig.1(a)より, H_2/CO_2 比が大きくなるほどメタン生成量は増加するが, H_2/CO_2 比が4以上はメタン生成量はあまり増加しないことを確認した.Fig.1(b)より,反応後の組成は H_2/CO_2 比が5の場合は反応していない水素が全体の2割ほど残っていることから, H_2/CO_2 比は4が適していると判断した.PCECでの水蒸気電解の反応式は式(5)であるが,PCECの水蒸気利用率を80%と仮定したため水素の生成量が4molとなるように,PCECへの水の供給量を5molとし,メタン生成器への二酸化炭素の供給量を1molとした.

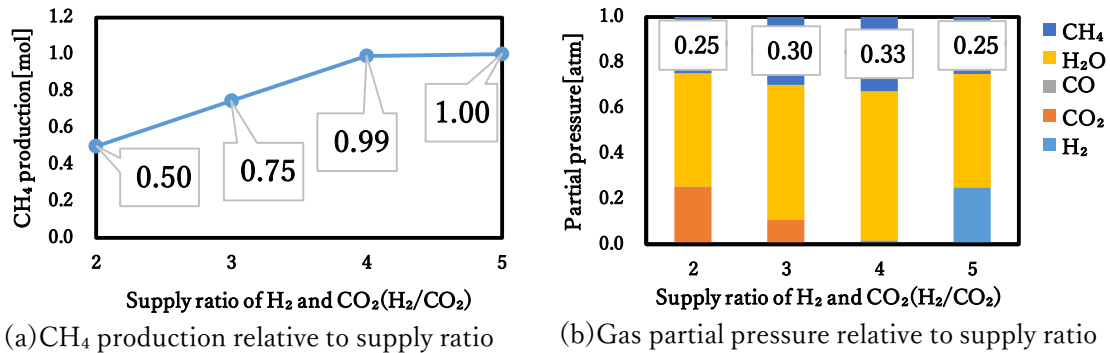


Fig.1 CH₄ production per supply ratio of H₂ and CO₂

3-2. システム構成とシステム効率

Fig.2 に熱損失 10% で PCEC の温度を 600°C とした場合のメタン混合ガス製造システム (メタン製造量 76.5 Nm³/h) を示す。式(6)より算出したシステム効率は、熱損失が 10% のとき 76.1% となり全消費電力は 1110 kW であった。一方、熱損失が 0% のとき効率は 77.7% となり全消費電力は 1088 kW であったため、効率に大きな差はみられなかった。これは、全消費電力の約 90% が PCEC による電解電力のためである。また、熱損失 10% で PCEC の温度を 700°C にしたときのシステム効率は 75.2% となった。このことから PCEC の場合、温度は低温での運転のほうが効率は高くなることが確認できた。

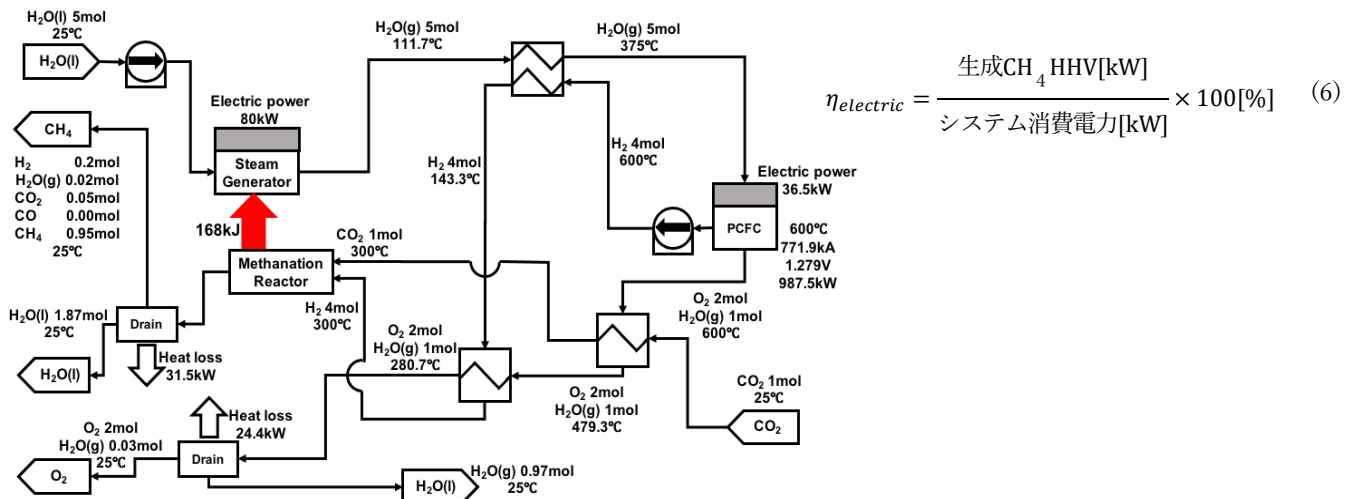


Fig.2 Methane mixed gas production system configuration using PCEC

4. まとめ

PCEC を用いたメタン混合ガス製造システムにおける燃料供給量とシステム効率の検討を行った。その結果、供給量は H₂/CO₂ 比は 4 が適していることが分かった。システム効率においては今回の場合では 76% 程度見込めることが分かり、全消費電力の約 90% は水蒸気電解が占めること、PCEC の運転温度は低いほうが効率は高くなることが分かった。従って PCEC 水蒸気電解を適用した今回のシステム効率と Audi の PtG プラントでのメタン製造効率を比較すると、大幅な効率向上が期待できると考えられた。

参考文献

- [1] Audi, 「The first industrial PtG plant- Audi e-gas as driver for the energy turnaround」 (閲覧 2020 年 10 月)
<http://www.cedec.com/files/default/8-2014-05-27-cedec-gas-day-reinhard-otten-audi-ag.pdf>
- [2] (独)宇宙航空研究開発機構, 「宇宙実用化を目指したサバチエ反応触媒の開発」 (閲覧 2020 年 10 月)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijmsa/30/2/30_86/_pdf-char/ja
- [3] 王臻偉他, 「固体酸化物形電解セルを用いた水蒸気電解特性-300Nm³/h の水素製造システムの効率-」, 研究報告 Q09008