

酸素利用 MCFC 発電システムの運用特性と 熱効率解析

- 1MW 級システムの構成と運用特性 -

背景

最新鋭の火力発電所の熱効率を大幅に上回ることが可能な高効率発電システムとして、当所では天然ガスを燃料とする酸素利用 MCFC（溶融炭酸塩形燃料電池）発電システムを提案している^(注1)。しかしながら、本システムを実現するための適切な構成や運転条件は明らかになっていない。

目的

天然ガスを燃料とし、導入初期段階で最低容量となる 1MW 級酸素利用 MCFC 発電システムについて、主要機器の運転温度条件を満足できるシステム構成、システム運転手法、および、システム性能を明確化する。

主な成果

(1) 温度制御を容易にするシステム構成と運転手法

外部改質器と内部改質形 MCFC を併用したシステムを構成し、外部改質割合と内部改質割合の調整による電池温度調整方法を提案した（図 1）。また、外部改質器をアノード出口に設置すれば、負荷変化に伴うアノード出口化学熱の変化とガス顕熱の変化を相殺でき、ガスタービン入口温度や熱交換器入口温度の使用範囲内への抑制が可能となる（表 1）。

(2) 加圧システムの性能（図 1、図 2、表 2）

本システムとマイクロガスタービンを組み合わせた加圧システムは、ガスタービン下流における燃料予熱用の熱源が不足するため、改質用水蒸気を外部改質器のみで昇温するシステム構成を提案した。このシステムにより、ガスタービン入口温度をほぼ一定としつつ、定格出力時に 60%HHV、部分負荷時(50%負荷)でも 52%HHV の高効率発電が可能となった。

(3) 常圧システムの性能（図 1、図 2、表 2）

常圧システムでは、熱交換器で回収できる熱量が多いことから、改質用水蒸気と燃料を、外部改質器と燃料予熱器の双方で昇温するシステム構成とした。さらに、酸素と炭酸ガスを個別に昇圧でき、カソードガス供給系に CO₂ブロワを適用できる特徴を活かし、CO₂循環により燃焼器温度を抑制するシステム構成を提案した。本システムにより、熱交換器の使用温度を 800 以下に抑制しつつ、加圧システムと同等の出力範囲で 51～55%HHV の高効率運転が可能となった。

以上のシステム構成と運転手法により、酸素利用 MCFC システムは、1MW 級の加圧・常圧いずれのシステムでも、約 50～60%HHV の送電端熱効率を、広い負荷範囲で実現できる魅力的なシステムとなり得ることが明らかとなった。

今後の展開

小規模での酸素利用 MCFC での検証を目指すとともに、酸素利用システムに適した燃焼器やガスタービンの運用特性の検討を行う。

注 1：300MW システムでの送電端熱効率

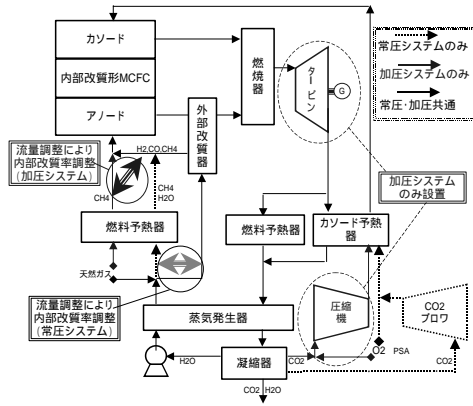


図1 システム構成図と電池温度調整方法

表1 電池運転上およびシステム運転上の特徴と燃焼器出口温度への影響

電池運転上の特徴と燃焼器出口温度への影響	高負荷時	低負荷時	
	電池発熱量	大	小
内部改質による電池冷却効果	大 (内部改質割合が高いため)	小 (内部改質割合が低いため)	
外部改質によるアノード出口ガス温度低減効果	低 (外部改質割合が高いため)	高 (改質割合が高いため)	
外部改質反応の燃焼器出口温度への影響	上昇傾向	下降傾向	
システム運転上の特徴と燃焼器出口温度への影響	熱放散割合	小	大
	燃料利用率	高 (高効率運転のため)	低 (システム温度維持のため)
燃焼器出口温度	下降傾向	上昇傾向	
燃焼器出口温度	加圧システムの場合 (ガスタービン入口温度)	900 以下	900 以下
	常圧システムの場合 (熱交換器出口温度)	800 以下	800 以下

表2 加圧システムおよび常圧システムの特徴と負荷に対する熱効率

システムの特徴		加圧システム	常圧システム
		ガスタービンあり (ガスタービンの動力回収によりガス昇温用の熱量が少ない)	ガスタービンなし (ガスタービンがなくガス昇温用の熱量が大きい)
運転上の特徴	改質用蒸気昇温方法	外部改質器のみによる (燃料予熱器のガス昇温能力が低いいため)	燃料予熱器と外部改質器の双方による (ガス昇温用の熱量が大きく燃料予熱能力が高いため)
	外部改質率	高(蒸気量大のため) 内部改質用メタンの割合が大きく 電池冷却能力上限が低い (最大電流密度 = 1800A/m ²)	低(蒸気量小のため) 内部改質用メタンの割合が低く 電池冷却可能上限が高いため 高い電流密度での運転が可能 (最大電流密度 = 2150A/m ²)
	燃焼温度低下方法	外部改質器による アノード出口ガス冷却のみ (外部改質による冷却効果大のため)	外部改質器によるアノード出口ガス冷却 + 炭酸ガス循環によるカソード出口ガス冷却 (外部改質による冷却効果が低い + 熱交換器温度制限が低いため)
システムの熱効率 (定格点は最大効率となる 1800A/m ² の電流密度とした)	定格時の送電端効率 (出力)	60%HHV (1140kW)	55%HHV (1030kW)
	最大出力時の送電端効率 (出力)	60%HHV (1140kW)	53%HHV (1202kW)
	部分負荷時の送電端効率 (出力)	52%HHV (600kW)	51%HHV (700kW)
	高効率運転負荷範囲 (負荷率)	600 ~ 1140kW (50 ~ 100%)	700 ~ 1202kW (70 ~ 120%)

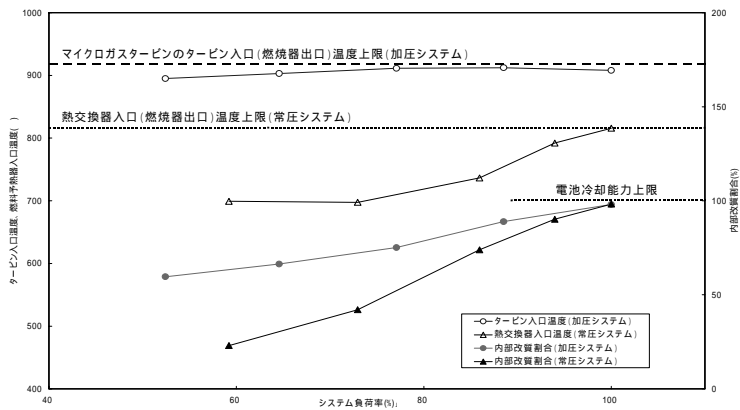


図2 運転負荷に対する燃焼器出口温度と内部改質割合の関係

研究報告 M05019	キーワード：溶融炭酸塩形燃料電池、酸素利用形、高効率発電、スタック温度調整、部分負荷特性
担当者	吉葉 史彦 (エネルギー技術研究所・高温発電工学領域)
連絡先	(財)電力中央研究所 エネルギー技術研究所 Tel. 046-856-2121(代) E-mail : eerl-rr-ml@criepi.denken.or.jp