

## 寒冷地における業務用固体酸化物形燃料電池の性能評価に関する研究 Study on Performance Evaluation of Solid Oxide Fuel Cell in Cold Regions

学生会員 ○林 龍之介 (北海道大学)      正会員 濱田 靖弘 (北海道大学)  
学生会員 村上 勘太 (北海道大学)      非会員 古谷 直樹 (北海道大学)  
非会員 白井 直樹 (北海道ガス)      正会員 武田 清賢 (北海道ガス)  
非会員 宮脇 雅史 (北海道ガス)      非会員 長川 大介 (北海道ガス)

Ryunosuke HAYASHI \*<sup>1</sup> Yasuhiro HAMADA\*<sup>1</sup> Kanta MURAKAMI\*<sup>1</sup> Naoki FURUYA\*<sup>1</sup>  
Naoki SHIRAI\*<sup>2</sup> Kiyotaka TAKEDA\*<sup>2</sup> Masashi MIYAWAKI\*<sup>2</sup> Daisuke NAGAKAWA\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>Hokkaido University \*<sup>2</sup>Hokkaido Gas Co., Ltd.

Synopsis : Energy saving is important in reducing the energy consumption, so we focus on CHP (Combined Heat and Power) system. Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)-CHP system is expected to have high energy efficiency in convenience stores which have stable power loads, but it hasn't been introduced in cold area of Japan. In this study, we carried out the performance evaluation of commercial SOFC-CHP system that is introduced for convenience store in severe cold area.

### はじめに

改正省エネルギー法（エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律）では、住宅の省エネルギー性能の判断基準として、基準一次エネルギー消費量があり、それに対する達成率の報告が求められる<sup>1)</sup>。省エネルギー性能については、断熱・気密性能などに加え、暖冷房・給湯など住宅設備の機器効率を踏まえた評価が必要となる。住宅の省エネルギー性能向上は増加傾向にある民生部門における消費電力削減にも重要であり、なかでも寒冷地区である北海道では、家庭部門における一人当たりのエネルギー使用量が全国平均の約 1.5 倍程度<sup>2)</sup>になっているため、最近では、普及が進む潜熱回収型ボイラに加え、さらに高い省エネルギー性・環境保全性を有する熱電併給（Combined Heat and Power : CHP）システムが注目されている。また、近年 CO<sub>2</sub> 削減の観点から、業務他部門においても熱源機器等における省エネルギー化・高効率化への関心が高まっている。CHP 機器の一つである固体酸化物形燃料電池（Solid Oxide Fuel Cell : SOFC）は、高温作動で発電効率が高いことが特徴である。安定的な電力負荷があるコンビニエンスストアへの導入によって高いエネルギー効率が期待され、現在多くの先行研究<sup>3)</sup><sup>4)</sup>が行われているが、商用化が開始されてから年月が浅く、業務用 SOFC が国内寒冷地で導入された事例は無いため、環境性や経済性について未知数の部分が多い。

本研究では、寒冷地における業務用 SOFC-CHP システムの実証試験を通して、その性能評価と最適な運転方法の検討を目的とする。まず、本 SOFC-CHP システムの概要を示し、夏期・冬期の運転状況の評価を通じ、本システ

ムの導入効果、最適な運転方法を明らかにする。

### 1. SOFC-CHP システムの概要

図-1 に実証試験を行った北海道大学構内にあるコンビニエンスストアの外観を示す。表-1 に SOFC 仕様を示す。SOFC-CHP の運転形態は定格連続運転としており、安定的な電力需要がある 24 時間営業のコンビニエンス



図-1 SOFC-CHP 導入の北海道大学  
構内コンビニエンスストア

表-1 機器仕様

項目	設定
運転形態	連続
発電出力	3 kW [AC]
定格発電熱効率	52% [LHV]
総合熱効率	90% [LHV]
貯湯タンク容量	200 L
ガス種	都市ガス13A

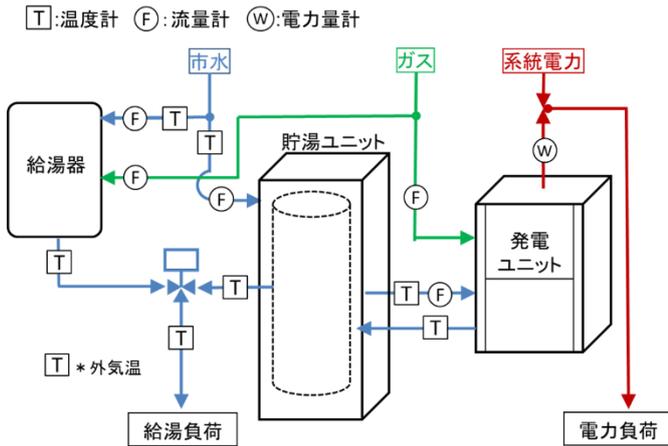


図-2 システム概要と計測点

表-2 算出定義式

発電熱効率 [HHV%]	$\frac{\text{燃料電池発熱量[MJ]}}{\text{都市ガス供給量[Nm}^3\text{]} \times \text{都市ガス発熱量[MJ/Nm}^3\text{]}}$
排熱回収熱効率 [HHV%]	$\frac{\text{燃料電池排熱回収量[MJ]}}{\text{都市ガス供給量[Nm}^3\text{]} \times \text{都市ガス発熱量[MJ/Nm}^3\text{]}}$
総合熱効率 [HHV%]	発電熱効率 + 排熱回収熱効率
一次エネルギー削減率 [%]	$\frac{\text{都市ガス供給量[Nm}^3\text{]} \times \text{都市ガス発熱量[MJ/Nm}^3\text{]}}{\frac{\text{燃料電池湯供給量[MJ]}}{\text{給湯器効率(0.8)}} + \frac{\text{燃料電池電力供給量[MJ]}}{\text{電力換算係数(0.369)}}}$

トアでの利用に適している。図-2 に本実証試験に用いた SOFC-CHP のシステム概要と計測点を示す。今回用いた SOFC-CHP では、貯湯ユニットに設定温度に対して十分な温度の温水がある場合にタンクより温水が供給され、そうでない場合は一般給湯器で市水を加熱する。各期の定格運転時毎秒データを計測し、その発電熱効率や排熱回収熱効率、一次エネルギー削減率といった挙動について定義式<sup>5)</sup>(表-2)を用いて算出、解析する。

2. 試験経過 (夏期・冬期代表日)

2018年10月から実測を開始しており、2019年7月31日～8月20日、2019年12月3日～2020年1月31日を夏期・冬期代表期間として実測結果を示す。

夏期代表日(2019年8月2日)の電力量推移を図-3、給湯負荷推移を図-4に示す。発電量は一日を通して3kWを推移し、購入電力量は4～9kWを推移していた。コンビニエンスストアの安定的な電力需要によりSOFCからの発電電力は全て店舗で消費された。早朝5時から18時にかけて一定の給湯需要があり、全給湯負荷は191MJ/dayとなった。夜間の給湯需要は見られず、SOFC排熱利用効率は30.2LHV%となり、SOFC給湯寄与率は85.2%と高い値を示した。

冬期代表日(2020年1月27日)の電力量推移を図-5、給湯負荷推移を図-6に示す。発電量は夏期同様一日を通して3kWを推移し、SOFCからの発電電力は全て店舗で

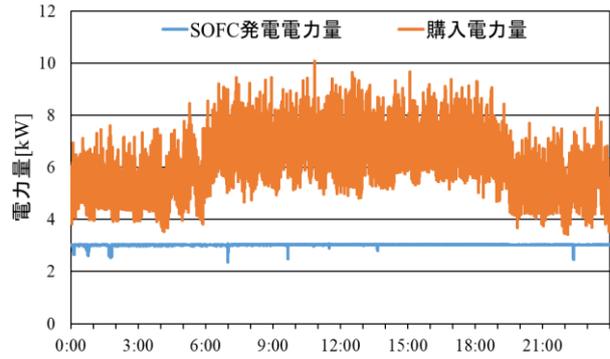


図-3 発電電力量 (夏期代表日)

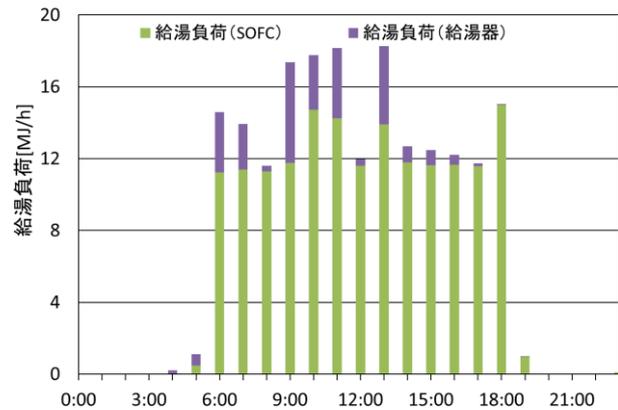


図-4 給湯負荷 (夏期代表日)

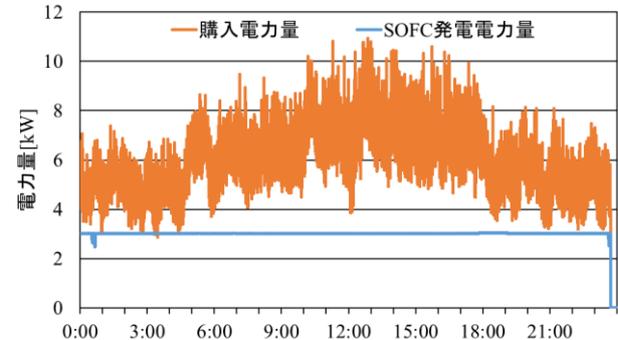


図-5 発電電力量 (冬期代表日)

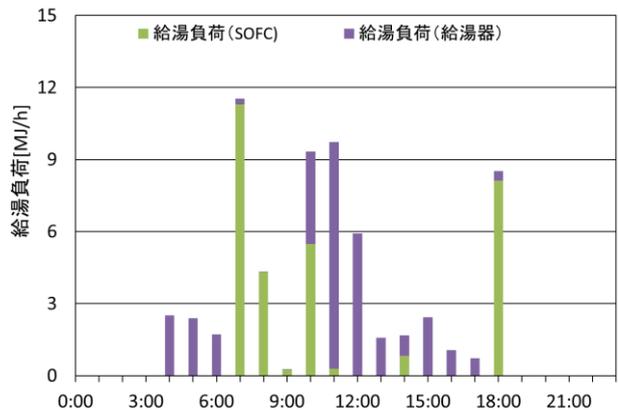


図-6 給湯負荷 (冬期代表日)

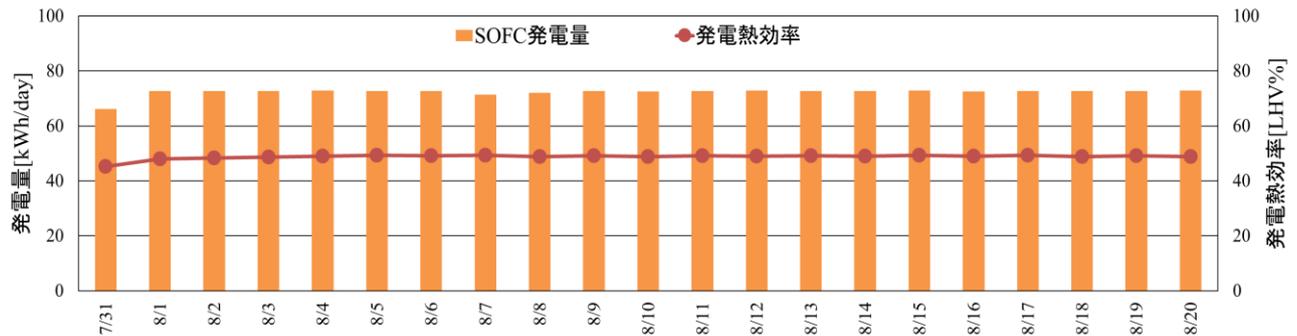


図-7 日別 SOFC 発電量と発電熱効率 (夏期)

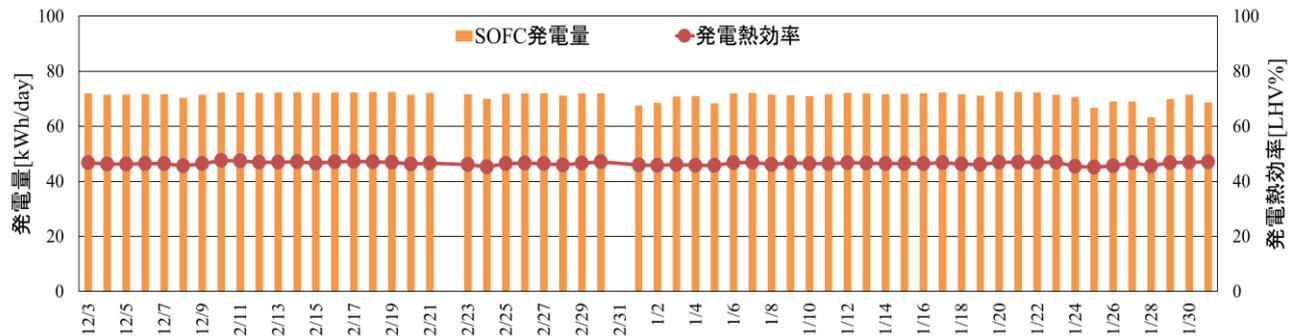


図-8 日別 SOFC 発電量と発電熱効率 (冬期)

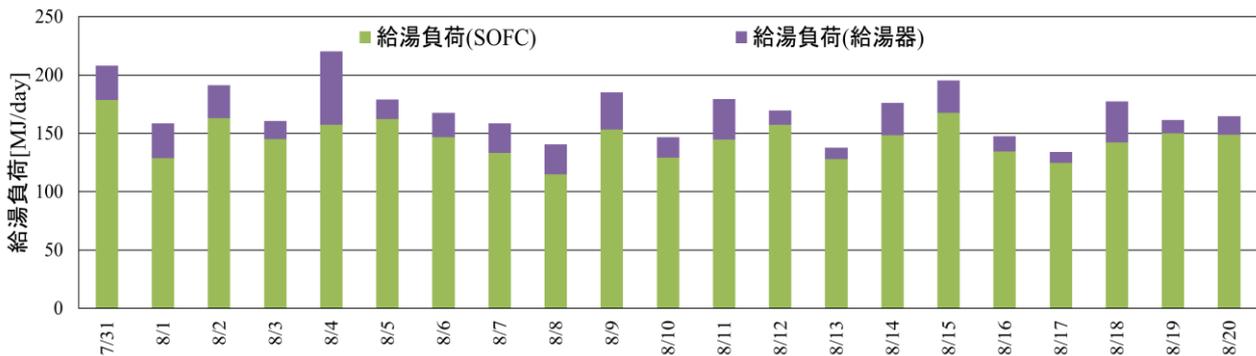


図-9 日別給湯負荷 (夏期)

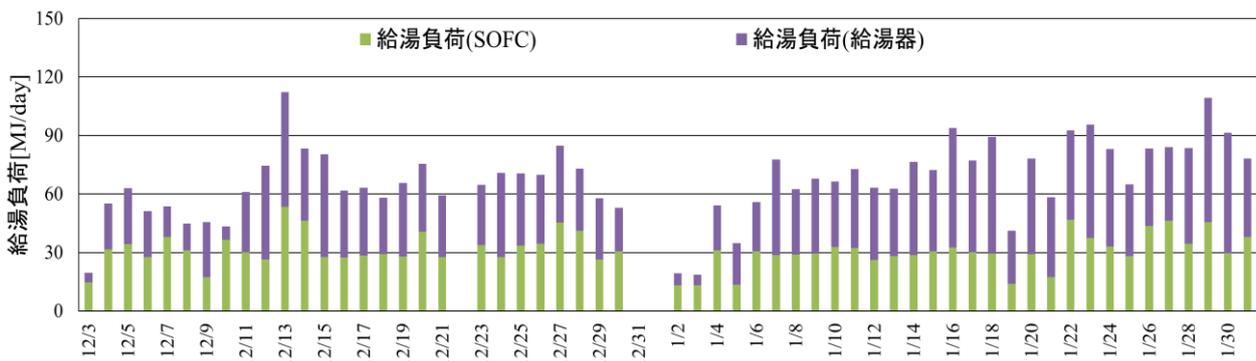


図-10 日別給湯負荷 (冬期)

消費された。2019年11月に給湯対象の変更を実施したため、夏期と比較して冬期の給湯負荷は小さくなっている。代表日の給湯需要は夏期と同時間帯に見られ、時間帯によって給湯負荷は変動しており、SOFC 排熱利用量も変動していた。全給湯負荷は 85 MJ/day となった。SOFC 排熱利用効率は 8.7 LHV% となり、SOFC 給湯寄与率は

54.9% となった。

### 3. 試験経過 (夏期・冬期代表期間)

夏期・冬期実測期間の日別結果を示す。日別 SOFC 発電量と発電熱効率を 図-7, 図-8 に示す。発電量は非常に安定しており、夏期・冬期共に 72 kWh/day 程度となった。期間平均発電熱効率は日変動が非常に小さく夏期で 48.6

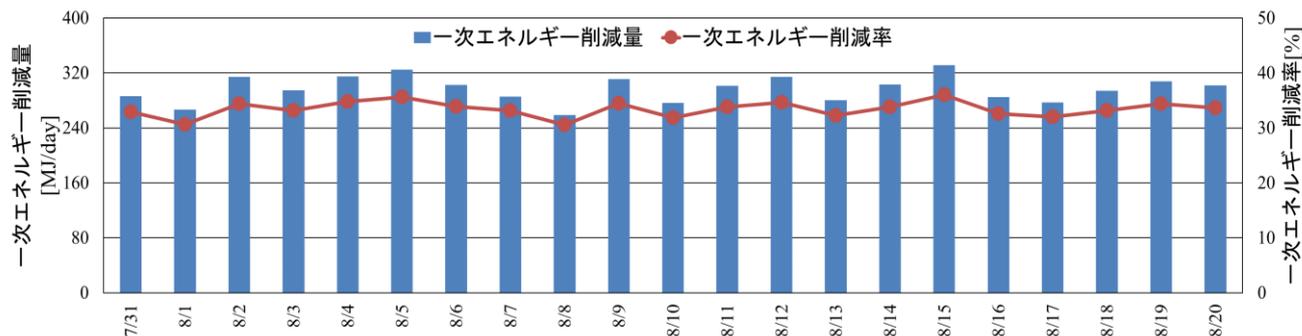


図-11 日別一次エネルギー削減（夏期）

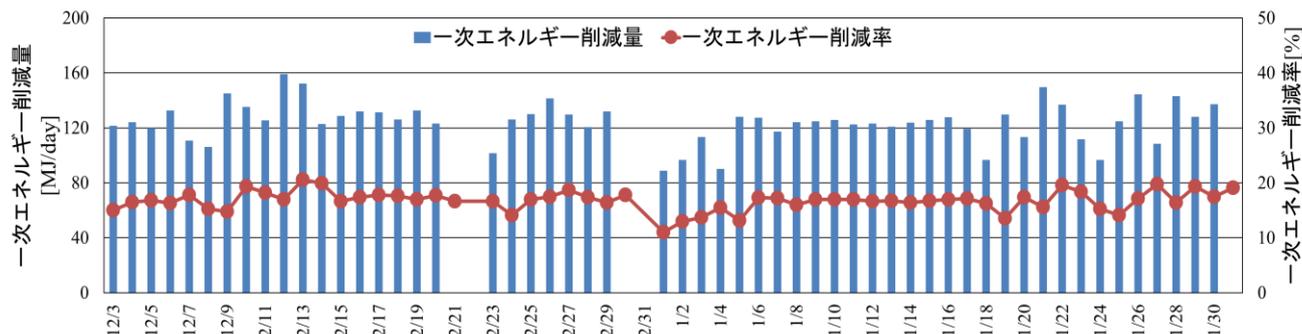


図-12 日別一次エネルギー削減（冬期）

表-3 夏期・冬期実測期間平均

	発電量 [kWh]	発電熱効率 [LHV%]	全給湯負荷 [MJ/day]	SOFC給湯寄与率 [%]	一次エネルギー 削減量[MJ/day]	一次エネルギー 削減率[%]
夏期平均	72.2	48.8	169.5	86.3	296.7	33.4
冬期平均	71.2	45.7	67.1	48.1	123.1	16.8

LHV%, 冬期で 45.7 LHV%と高い値を示した。

日別給湯負荷を図-9, 図-10に示す。夏期給湯負荷に関して、代表期間平均 170 MJ/day となった。SOFC 排熱利用効率は 27.3 LHV%, SOFC 給湯寄与率は 86.3%となった。冬期給湯負荷に関して、日変動は大きく代表期間平均 67.1 MJ/day となり、SOFC 排熱利用効率は 5.5 LHV%, SOFC 給湯寄与率は 48.1%となった。

日別一次エネルギー削減量、削減率の推移を図-11, 図-12に示す。夏期に関して、一次エネルギー削減量は平均 297 MJ/day, 一次エネルギー削減率は 33.4%と高い値を示した。冬期に関して、一次エネルギー削減率は平均 123 MJ/day, 一次エネルギー削減率は 16.4%となり、夏期・冬期共に SOFC 導入による、一次エネルギー削減効果が示された。表-3に夏期・冬期実測期間の各値平均を示す。冬期・夏期共に電力負荷は安定した推移を示した。SOFC 排熱に関して、除湿空調や冬期の暖房、融雪等に利用することによるエネルギー消費削減可能性が示唆された。

### まとめ

寒冷地における業務用 SOFC-CHP システムの性能評価を目的とし、コンビニエンスストアにおける実証試験概要と夏期・冬期における実測結果を示した。

夏期・冬期共にコンビニエンスストアの安定的な電力需要により、SOFC 発電電力は全て店舗で消費された。給湯需要に対して SOFC 給湯寄与率は夏期 86.3%, 冬期 48.1%となり、SOFC 排熱利用の有効性を確認した。一次エネルギー削減率は夏期 33.4%, 冬期 16.8%となり、SOFC 導入による一次エネルギー削減効果が示された。

寒冷地のコンビニエンスストアでは安定的な電力需要に加え、高い排熱需要があるため、SOFC-CHP の総合熱効率を向上させる可能性があることが示唆された。

### 参考文献

- 1) 経済産業省, 国土交通省; 告示第二号, (2009-1).
- 2) 北海道経済産業局; 北海道のエネルギー消費動向について (2008 年度版).
- 3) 夜久幸希, 尾崎明仁, and 李明香. "家庭用 SOFC-CGS の性能評価に関する研究." 空気調和・衛生工学会 論文集 39.203 (2014): 25-33.
- 4) 鈴木稔. 2. 家庭用 SOFC コージェネレーションシステムの現状と展望. Electrochemistry, 2012, 80.4: 256-260.
- 5) 財団法人新エネルギー財団; 固体酸化物形燃料電池実証研究, 平成 21 年度設置サイトの運転結果