

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760224

研究課題名(和文)電気自動車の充電スタンドを導入したSOFC分散電源システムに関する検討

研究課題名(英文) Investigation on SOFC system considering EV charging station

研究代表者

田中 正志 (Tanaka, Tadashi)

茨城大学・工学部・助教

研究者番号：40583985

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では電気自動車(EV)の充電スタンドを考慮した固体酸化物形燃料電池コジェネレーションシステム(SOFCCGS)を提案し、その一次エネルギー削減率を計算した。その結果、集合住宅の場合には30%を超える年間の一次エネルギー削減率が期待できる。一方学生食堂の場合には40%を超える年間の一次エネルギー削減率が期待できることがわかった。したがって、EV充電スタンドを考慮したSOFCCGSはエネルギーの利用効率および利用形態の両面から合理的で実現可能性はかなり高いとわかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, solid oxide fuel cell co-generation system (SOFCCGS) integrated with electric vehicle (EV) charging station was proposed; the primary energy saving rate was evaluated in case the proposed system was considered to be installed at both a Japanese multifamily apartment and a cafeteria located in Hitachi campus, Ibaraki University. As the results, the expected primary energy saving rate exceeds 30% throughout the year when the proposed system is installed at the multifamily apartment. On the other hand, the expected primary energy saving rate exceeds 30% throughout the year when the proposed system is installed at the cafeteria. Therefore, it can be concluded that the proposed SOFC system can successfully combine electrical/thermal energy co-generation and electric vehicle charging while maintaining high energy efficiency and good matching to energy consumption patterns.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：SOFC 電気自動車の充電 コジェネレーション

1. 研究開始当初の背景

現在、化石燃料の枯渇、地球温暖化というエネルギー環境問題が注目されている。このうち化石燃料の枯渇の問題に対しては、昨今、地下の頁岩 (Shale) 層に閉じ込められているシェールガスと呼ばれる非在来型ガスの採掘技術が確立し、新たなガス資源が利用可能となってきている。したがって、この新たなガス資源の有効利用技術の開発が求められている。

ガス資源の有効利用技術の一つとして燃料電池が開発されているが、その中でも固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の開発が活発で、大型発電システムから小型分散電源用 SOFC コージェネレーションシステム (CGS) までさまざまなシステムが提案されている。

一般に小型分散電源用として燃料電池を使用する場合、施設の電力・給湯需要に応じて一日の間で起動停止を繰り返す DSS (Daily Start and Stop) 運転が採用されるが、SOFC の場合は運転温度が 700 程度と高温であるために起動停止に時間を要してしまうので、DSS 運転は不向きである。さらに SOFC は起動停止を繰り返すと電池の劣化が促進されてしまうといった懸念もある。したがって、小型分散電源として使用する SOFC は起動停止を繰り返さない運転を行うべきである。

一方、地球温暖化の問題に対しては太陽光発電、電気自動車 (EV) などが活発に開発されている。すでに太陽光発電システムは実用化されているのに対して、EV のリースが始まっているものの、EV は普及の過渡期にあるといえる。今後、EV を普及させていくには、ガソリンスタンド同様に EV 充電スタンドを社会インフラとして広範囲に整備する必要がある。

2. 研究の目的

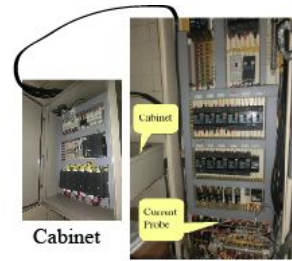
以上の背景を勘案して、研究代表者は小型分散電源として EV 充電スタンドを組み合わせた SOFC CGS システムを提案し、集合住宅や学生食堂に同システムを設置した場合の一次エネルギー削減率や EV 充電とコージェネの運用の合理性を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、電力・給湯需要データを基に EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS の運転シミュレートし、EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS の一次エネルギー量 P_{new} を求めるとともに、ベースケースの一次エネルギー量 P_{base} も求めて、一次エネルギー削減率を以下の式で試算した。

$$= \frac{P_{base} - P_{new}}{P_{base}} \dots \dots \dots (1)$$

(1) 具体的に利用された集合住宅の電力・給湯需要に関しては、研究室にすでにある福岡県にある集合住宅 18 戸分のデータを用いた。



(HIOKI 2300) Distribution board

図 1 電力需要測定システム

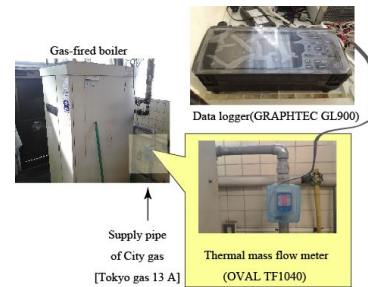


図 2 熱需要測定システム

- (2) 具体的に利用された学生食堂の電力・給湯需要に関しては、図 1 に示すように学生食堂の分電盤内に電圧、電流プローブを設置して最終的に HIOKI2300 で電力需要データを得た。一方、食堂の給湯は業務用ガス給湯器から一括供給されていることを考慮して、図 2 に示すように食堂に設置されているガス給湯器のガス上流に熱式ガス流量計 (OVAL) を設置して、ガス消費量に都市ガスの標準燃焼熱および熱効率を掛け合わせることで給湯需要データを得た。
- (3) 具体的に想定した EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS は集合住宅の検討の場合には図 3 を想定した。また、学生食堂用の検討の場合にはヒートポンプ給湯器を組み合わせた図 4 のシステム構成を想定した。
- (4) 図 3 と図 4 のシステム内の各コンポーネントの EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS の運転シミュレーションは Visual Studio2010 という開発プラットフォームを用いて C++ 言語で独自に製作したプログラムを用いて行った。
- (5) ベースケースは図 5 に示すように電力は系統から、給湯は一般のガス給湯器でまかなうエネルギー供給形態を想定した。

4. 研究成果

- (1) 集合住宅に対する EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS の導入効果の検討
集合住宅の電力・給湯需要データを勘案した SOFC の一日中一定出力運転の実現可能性の検証
今回新たに、SOFC の運転方法として、一日中一定出力運転を想定するので、まずは集合住宅の電力・給湯

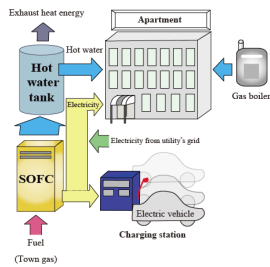


図3 集合住宅用システム図

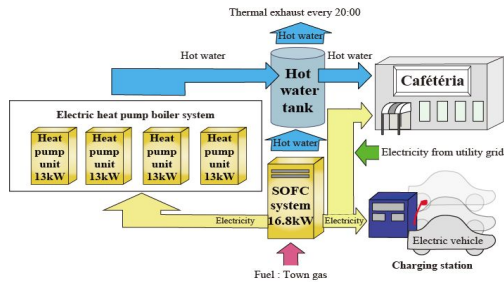


図4 学生食堂用システム図

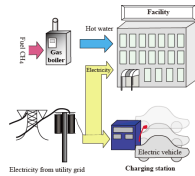


図5 ベースケース図

需要パターンからその実現性を検討した。図6に2003年5月22日木曜日の0時から24時までの集合住宅の電力・給湯需要を示す。

図より、一日の需要変化として、電力需要は朝と夕方に増加し深夜に最低する傾向がある。したがってSOFCが一日中一定出力運転を行った場合、深夜に比較的多くの余剰電力が期待できる。一方、深夜の時間帯の給湯需要は0であり、朝と夜の時間帯に集中している。

つまり、DSS 運転によって夜間にSOFCを長時間とめるよりも、一日中一定出力運転を続け、夕方の給湯需要に備えて蓄熱を行うことのできるSOFCの一日中一定出力運転は実現可能で、コジェネとEV充電を両立するのにふさわしい運転法であるといえる。

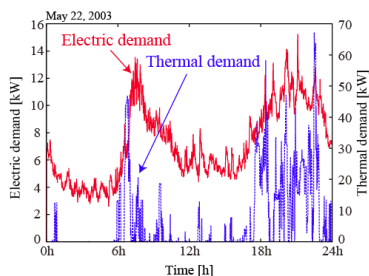


図6 集合住宅の電力・給湯需要

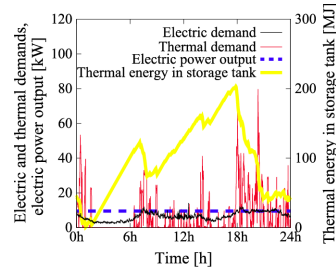


図7 運転シミュレーション結果(中間)

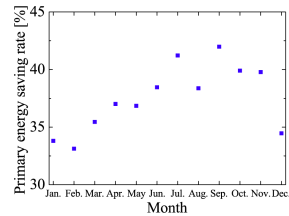


図8 月別一次エネルギー削減率

運転シミュレーション結果

12kWの定格電気出力を持つSOFCを想定して、集合住宅の各季節の運転シミュレーションを行った。結果の一例を図7に示す。

図より、SOFCに一日中一定出力運転を適用し、夜間はEV充電とともに蓄熱を続ける運転で一日分の熱の供給と消費は一致した。しかも、系統からの買電も抑制できており、適切にコジェネとEV充電が行えている。一次エネルギー削減率

上述の運転シミュレーションから、EV充電スタンドを考慮したSOFCの一次エネルギー量を求めると同時にベースケースの一次エネルギー量を求めて、式(1)を基に各月の一次エネルギー削減率を求めたので、その結果を図8に示す。

図より、一次エネルギー削減率は年間を平均して30%以上を示しており、今回研究代表者が提案しているEV充電スタンドを考慮したSOFCを集合住宅に導入した場合には高い省エネ性が得られることがわかった。

EV充電可能量

スマートグリッドのようにソーラパネルや風力発電機のそばに定置用として設置される電池の充電の場合は、電池が常に接続されているので、いつ充電しようとしても問題ない。しかしながら、EVの場合には自動車の駐車時間帯にのみ充電が可能であるので、どの時間帯に充電可能で、全体的にはどの程度の充電が可能であるのかを検討しておくことはSOFCとEVの充電スタンドを組み合わせさせたシステムでエネルギーの供給と需給のミスマッチを引き起こさ

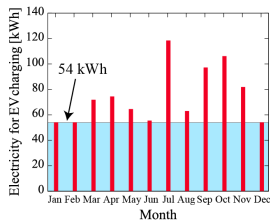


図9 月別 EV 充電可能量

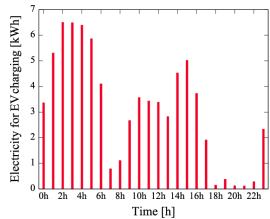


図10 時間帯別 EV 充電可能量

ないために重要である。

その点を考慮して、本研究ではまず、EV 充電スタンドを考慮した SOFCCGS を集合住宅に導入して一日運転した場合の EV 充電量を試算した。その結果を図9に示す。

図に示すとおり、季節が変わったとしても 54kWh 以上の充電量が確保できることがわかった。一般的な EV の電費が 0.15kWh/km で一日分の走行距離が 20km であるとした場合には、54kWh 以上の充電量は 18 台分以上の充電量に相当する。つまり、今回想定している集合住宅は 18 戸なので全戸が EV を 1 台以上所有したとしてもその充電に対応可能であると判断できる。

さらに、時間帯別充電量を検討した。結果の一例として 4 月の結果を図 10 に示す。

図より、深夜 0:00 から 6:00 までの充電量は 34kWh で、それは全体の約 70% を占めていた。つまり、集合住宅に居住する個人が所有する自動車は深夜に駐車場に止まっている可能性が高いので、より多くの充電量とその時間帯に発生しているという今回の結果は SOFCCGS と EV 充電スタンドを組み合わせ、一日中 SOFC を一定出力運転するような使い方をしても SOFC の深夜電力は EV の充電に有効に利用され、コジェネと EV 充電という需要と供給の両方を満足することができると判断できる。

まとめ

研究代表者が提案する EV 充電スタンドを考慮した SOFCCGS を集合住宅へ導入した場合には、年間で 30% 以上の一次エネルギー削減率が期待できたので高い省エネ性が得られることがわかった。それと同時に、一日中 SOFC を一定出力運転するよう

な使い方をしても SOFC の深夜電力は EV の充電に有効に利用できるので、SOFC コジェネと EV 充電の組み合わせにはミスマッチが発生しないことがわかった。したがって、集合住宅に EV 充電スタンドを考慮した SOFCCGS を導入しても、エネルギーの利用効率および利用形態の両面から合理的で実現可能性はかなり高いといえる結論を得られた。

- (2) 学生食堂に対する EV 充電スタンドを考慮した SOFCCGS の導入効果の検討
 学生食堂の電力・給湯需要データを勘案した SOFC の一日中一定出力運転の実現可能性の検討
 学生食堂の場合もはじめに、測定して得られた電力・給湯需要パターンを基に SOFC を一日中運転してコジェネと EV 充電の両立が期待できるかという実現可能性について検討した。

図 11 に 2013 年 4 月 15 日の電力・給湯需要の測定結果を示す。

図より、学生食堂の活動が開始する 8:15 ごろから給湯需要は立ち上がり、閉店の 20:00 まで給湯需要がある。そして閉店後の時間帯は給湯需要が 0 であることがわかる。一方、電力需要に関しては、学生食堂の活動している 8:00 から 20:00 までは 10kW 以上の電力が消費されるのに対して活動時間外の深夜は、数 kW まで電力消費が落ち込んでいる。

つまり、学生食堂の場合も DSS 運転によって夜間に SOFC を長時間とめるよりも、一日中出力運転を続け、夕方の給湯需要に備えて蓄熱を行う運転の実現可能性は高く、そのような運転がコジェネと EV 充電を両立するのにふさわしい運転法であるといえる。

ところで、図 11 より一日の総電力需要と総給湯需要を比べると、電力需要に対してはるかに給湯需要が大きいことがわかった。SOFCCGS の場合、SOFC は基本的に高発電効率という特徴を持つので、一般的な構成の

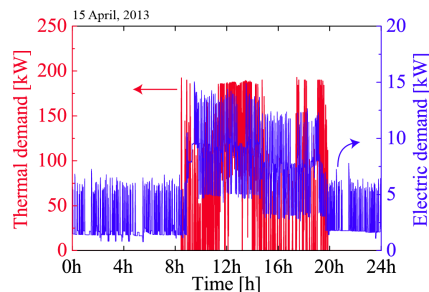


図11 学生食堂の電力・給湯需要

SOFC CGS では高熱需要施設へのマッチングが悪く、高い省エネ性が得られない可能性が考えられる。つまりエネルギー需要量とシステムのエネルギー供給量の親和性を確保しておく必要があるとわかった。この点を考慮して、研究代表者は SOFC CGS のバックアップボイラとして従来のガス給湯器を用いるのではなく、SOFC の高発電効率を利用して発電された電気を使って給湯できる電気式ヒートポンプ給湯器（エコキュートのようなもの）を利用したシステム構成（図 4）を想定することにした。

運転シミュレーション結果

本研究では、測定により得られた熱需要を勘案して電気式ヒートポンプ給湯器の使用としては、実際の業務用ヒートポンプ給湯器の仕様・構成要件を考慮して、熱出力が 13kW のヒートポンプを 4 台並列接続する構成を考えた。さらにヒートポンプ

で使用する電気は SOFC から供給されたほうが良いのでヒートポンプ給湯器の最大入力電力に合わせることにした。したがって、定格発電出力は 16.8kW の定格発電出力を持つ SOFC を想定することにした。

なお、学生食堂の電力・給湯需要は日々変化するので、並列接続した 4 台のヒートポンプ給湯器が常に運転するのではなく、給湯需要に応じて運転台数が変わるような運転法を採用することにした。

本研究では各季節の運転シミュレーションを行ったが、その結果の一例として、図 12 から 14 に夏の場合の運転シミュレーション結果をそれぞれ示す。

図 12 より、深夜時間帯（0:00 から 8:00 ごろまで）は電力需要が落ち込んでいるので、SOFC の発電電力を最大限ヒートポンプ給湯器に振り分けて、4 台のヒートポンプ給湯器の運転が続き、その後は 1 台だけ運転しておく。このような運転を採用することで、図 13 に示すように、たとえ学生食堂で多くの給湯が必要になったとしても、給湯を供給する貯湯槽の熱は 0 にならず、熱不足が発生しない。つまり、熱の運用が適切に行えたと判断できる。

一方、図 14 より、ヒートポンプ給湯器に電力が割り振られるために、0:00 からの深夜帯に EV 充電が確保できなくなってしまうものの、学生食堂が閉店した 20:00 から 0:00 の間は余剰電力が発生し EV 充電が可能であることがわかる。つまり、EV 充電も実行可能である。

以上より、EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS を、学生食堂のような SOFC 発電システムが適切でないような高熱需要施設へ導入してもコージェネと EV 充電が達成可能であることがわかった。

一次エネルギー削減率

上述の運転シミュレーションから、EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS の一次エネルギー量を求めると同時にベースケースの一次エネルギー量を求めて、式(1)を基に各季節の一次エネルギー削減率を求めた。紙面の都合上、夏の結果を表 1 に示す。

表より、年間の一次エネルギー削減率は 40% 以上に達しており、研究代表者が提案する EV 充電スタンドを考慮した SOFC CGS は学生食堂のような高熱需要施設でも高い省エネ性が得られることがわかった。

EV 充電量

集合住宅の場合は決まった数の住

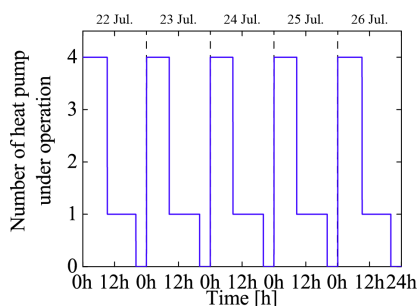


図 12 運転シミュレーション結果
(夏のヒートポンプ運転台数)

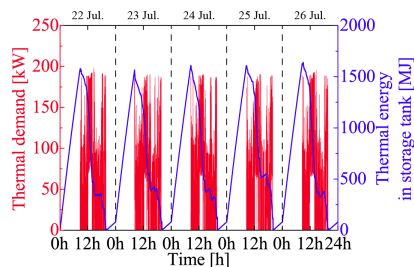


図 13 運転シミュレーション結果
(夏の貯湯槽の蓄熱量および給湯需要)

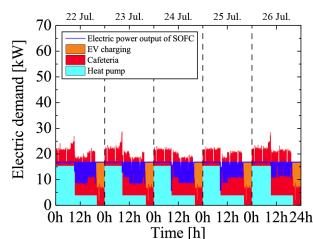


図 14 運転シミュレーション結果
(夏の SOFC 発電電力および電力需要)

表1 一次エネルギー削減率(夏)

Summer	Primary energy saving rate [%]
22 July	44.38
23 July	43.54
24 July	43.10
25 July	43.10
26 July	44.91

人がいるので、住人の数に応じた決まった台数分のEV充電量を確保できればよかったが、学生食堂のような店舗系の施設の場合、駐車場は広いものの常に車が止まっている台数まで固定することは困難で、日によってEV充電量が大きく変化することも考えられる。

EV充電量が変化すると一次エネルギー削減率も大きく変化すると考えられるので、図14に示す運転シミュレーションにおいてEV充電時間帯のSOFCの発電電力を変化させることで、EV充電量が変化した場合の一次エネルギー削減率を再計算したので、各季節におけるEV充電量に対する一次エネルギー削減率の依存性を図15に示す。

図より、EV充電量が変化したとしても、40%以上の一次エネルギー削減率を保つことができる。

したがって、学生食堂にEV充電スタンドを考慮したSOFC CGSを導入して、EV充電量が日々変化するような現実的な条件を考慮したとしても、高い省エネ性を発揮できる。

(3) 研究成果の貢献と今後の研究展望

本研究では、数10kWクラスのSOFCを利用して、EV充電スタンドを考慮したSOFC CGSを想定し、具体的な運転シミュレーションによってどのようにシステムの各コンポーネントを運転すればよいのか、その運転法でどの程度の省エネ性が見込めるかを数値的に明らかにできた。具体的な数値としては40%以上の高い省エネ効果が見込めるとわかった。つまり、SOFC CGSとともにEV充電スタンドを普及するというシナリオを描くことができ、本研究成果はEV充電スタンドの普及に貢献できると確信している。

さらに、あるNEDOのSOFC開発に関するプロジェクトの評価結果として、住宅用SOFCの開発はかなり進んでいるが、その他の施設に対してSOFCの優位性が明確でなく見通しが得られていないと示唆されている現状にして、学生食堂のような店舗系でしかも高熱需要施設で新たにSOFCの省エネ性が数値的に実証

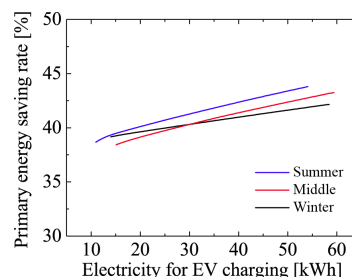


図15 EV充電量に対する

一次エネルギー削減率の依存性

できたという本研究で得られた知見は、今後のSOFC CGSの開発にも貢献できたといえるのではないだろうか。

そのような観点より、今後は数10kWクラスのSOFCを利用したシステムを実際に構成して、具体的に高熱需要施設へ導入を仮定した実証実験に移っていければ幸いである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

T. Tanaka, H. Kamiko, T. Bando, A. Zaffirah, N. Kakimoto, Y. Inui, T. Maeda, 『Energetic Analysis of SOFC Co-generation System Integrated with EV Charging Station Installed in Multifamily Apartment』, International Journal of Hydrogen Energy, 39, 5097-5104, 2014, 査読有

〔学会発表〕(計11件)

田中正志、神子裕明、秋葉一輝、大崎春樹、垣本直人、乾義尚、『高熱需要施設に導入されたSOFC CGSのEV充電を考慮した一次エネルギー削減効果の検討』, 第22回SOFC研究発表会, 214B, 2013.12, 科学技術館サイエンスホール(東京)
H. Kamiko, T. Tanaka, T. Bando, Z. Ayshah, N. Kakimoto, Y. Inui, 『Energetic Analysis of SOFC Co-generation System Integrating with Charging Stand for Electric Vehicle』, IEEE POWERTECH 2013, A5905TT, 2013.6, WTC Conference Center Grenoble(フランス)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.ee.ibaraki.ac.jp/enepow/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 正志(TANAKA TADASHI)

茨城大学・工学部・助教

研究者番号: 40583985