

34. 燃料電池・太陽電池・バッファデバイスを導入した家庭用エネルギーシステムに関する研究 - ハイブリッドバッファデバイスの性能と導入効果の解析 -

佐藤 博紀^{1*}・濱田 靖弘¹・小川 まどか¹・花野 翔真¹・板野 愉朋²
武田 清賢²・熊本 功³・佐藤 英明⁴・本間 富士夫⁵

¹北海道大学 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²北海道ガス株式会社 (〒060-0042 札幌市中央区大通西7丁目3番地)

³広島ガス株式会社 (〒734-8555 広島市南区皆実町2丁目7番1号)

⁴田淵電機 (〒532-0003 大阪市淀川区宮原3丁目4番30号)

⁵日本ケミコン株式会社 (〒141-8605 東京都品川区大崎五丁目 6 番 4 号)

本研究は太陽電池(Photovoltaics), バッファデバイス (Buffer Device : BD) と家庭用熱電併給機器 (Combined Heat and Power : CHP) を組み合わせたシステムの最適運転手法の開発を目的としている。はじめに、ハイブリッドBD, PV, CHPを搭載した住宅をスマートハウス (Smart House : SH) と定義する。ここで、ハイブリッドBDとは二次電池 (Rechargeable Battery : BT) と電気二重層キャパシタ (Electric Double Layer Capacitor : EDLC) を組み合わせたデバイスを指す。次に、SHのフィールド実測で得られた電力負荷・給湯負荷と、SHを構成する機器の性能を示す。最後に、固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell : PEFC) を核とした、SHの運転シミュレーションを作成し、PEFCにハイブリッドBDを組み合わせた場合とPEFC単体での運転による場合の省エネルギー効果を比較する。

Key Words : Combined Heat and Power, Smart House, Polymer Electrolyte Fuel Cell, Buffer Device

1. 緒言

本研究は住宅用熱電併給機器 (Combined Heat and Power : CHP) を核とした次世代住宅, スマートハウス (Smart House : SH) に関する一連の研究¹⁾であり、固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell : PEFC), 太陽電池 (Photovoltaics : PV), バッファデバイス (Buffer Device : BD) を組み合わせたシステム (図-1) の省エネルギー効果の向上を目的に、SH の運転方法に関する検討を行ったものである。まずハイブリッド BD について述べる。次いで、PEFC+ハイブリッド BD の負荷予測制御・運転シミュレーションの概要について述べ、ハイブリッド BD の導入効果を一次エネルギー削減量および充放電回数の観点から評価する。

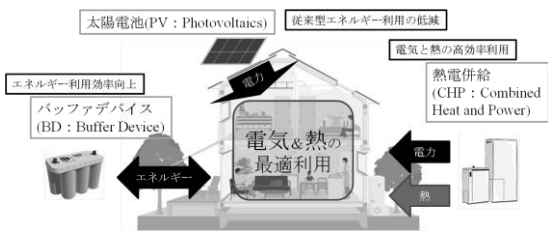


図-1 SH の概念図

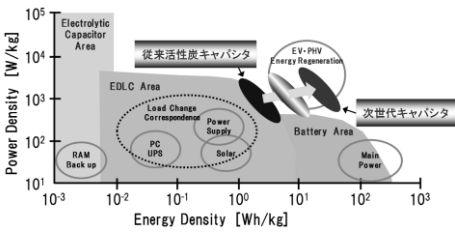


図-2 ラゴンプロット

表-1 各種バッファデバイスの特性値

	EDLC	鉛	リチウム	EV ¹⁾ 用リチウム
パワー密度 [W/kg]	5580	50	400	3300
エネルギー密度 [Wh/kg]	3.7	35	200	125
充放電寿命 [サイクル]	10 ⁶	1200(DOD70%)	1000(DOD50%)	
コスト [万円/kWh]	100	5	20	

注) ¹⁾電気自動車 (Electric Vehicle:EV)

2. ハイブリッドバッファデバイスについて

本研究では、二次電池 (Rechargeable Battery : BT) と電気二重層キャパシタ (Electric Double Layer

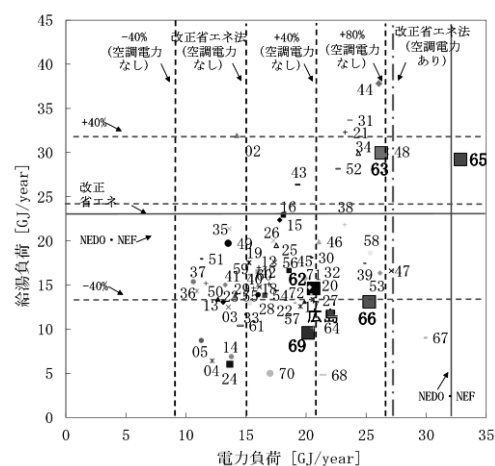


図-3 解析負荷世帯

表-2 機器仕様(PEFC)

	PEFC
最大発電出力	750 W
最小発電出力	250 W
負荷追従速度	上昇時 1.17 W/sec 下降時 700 W/sec
バックアップボイラ 給湯効率	91.4%
貯湯槽容量	200 L
最高貯湯温度	65 °C
貯湯槽の熱損失率	0.7～1.2%/hour
配管損失率	0～2%
混合損失	10%
入水温度	札幌市水道温度 (月平均)

表-3 機器仕様(BD)

	二次電池	EDLC
蓄電容量	11.9 kWh	65.3 Wh
放電深度(DOD)	50%	100%
実蓄電容量	11.9×DOD kWh	65.3×DOD Wh
最大放電電力	1500 W	
最大充電電力	700 W	
充放電効率	83%	100%

Capacitor : EDLC) を組み合わせたデバイスをハイブリッド BD と定義する。EDLC を組み合わせることにより、PEFC および BT の負荷追従速度以上の電力負荷に対応し、さらなる PEFC の稼働率向上と BD の長寿命化を目的としている。図-2 にラゴンプロット、表-1 に各種バッファデバイスの特性値を示す。EDLC はコンデンサの一種であり、エネルギー密度は BT と比較して小さいが、充放電速度が非常に大きく、寿命が長いという特徴を持っている。そのため、ハイブリッド BD のそれぞれの役割を、BT は時間・日単位での長時間・大容量の充放電、EDLC は秒単位での急峻・小容量の充放電に対応させることで、BT の充放電回数を低減し、BT の負担を軽減することが可能となる。

3. PEFC+BD 運転シミュレーション

(1) 運転シミュレーション概要

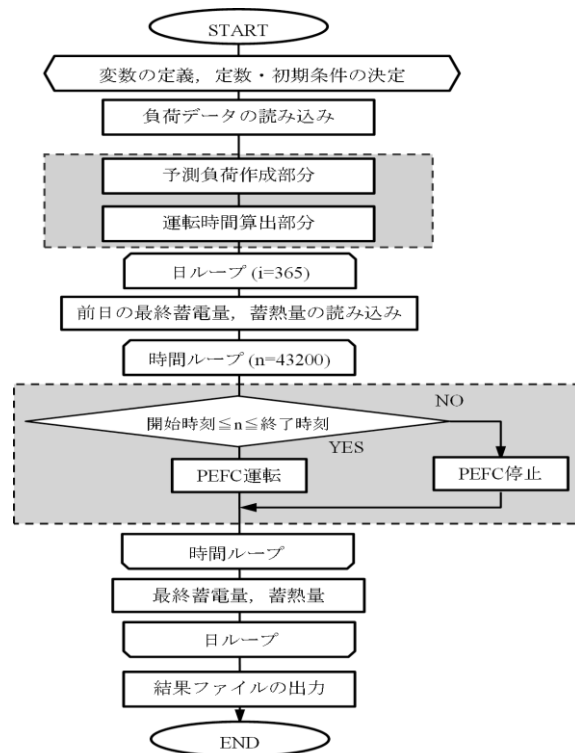


図-4 プログラムフロー

本プログラムは、SH を構成するシステムの内、PEFC にハイブリッド BD を導入した場合の一次エネルギー削減量と充放電回数を算出することを目的としており、今回は PV を考慮していない。シミュレーションの計算フローを図-4 に示す。大別して負荷予測制御部分と運転シミュレーション部分から構成されている。負荷予測制御部分は、過去の負荷履歴と曜日概念から負荷を予測する「予測負荷作成部分」、その予測負荷に対し、一次エネルギー削減量が最大となる PEFC の運転開始時刻および運転終了時刻を算出する「運転時間算出部分」から構成されている。運転シミュレーション部分は、算出した運転時間に従い PEFC を運転させる。但し、運転中に貯湯槽が満蓄状態になった場合は強制停止する。充放電制御については、EDLC は BT に対し、優先的に充放電するとし、2. で述べた役割を再現する。また運転シミュレーション部分では各種 BD の有無による違いを比較するため、PEFC、PEFC+BT、PEFC+BT+EDLC の 3 パターンで解析を行った。

(2) フィールド測定値と数値解析値の比較

SH のフィールド実測¹⁾で得られた測定値を基に、BT の劣化、タンク・配管における熱損失、各都市の水道温を考慮し数値解析を行った。図-5 に、受電電力量・PEFC 発電量・充電量・放電量における

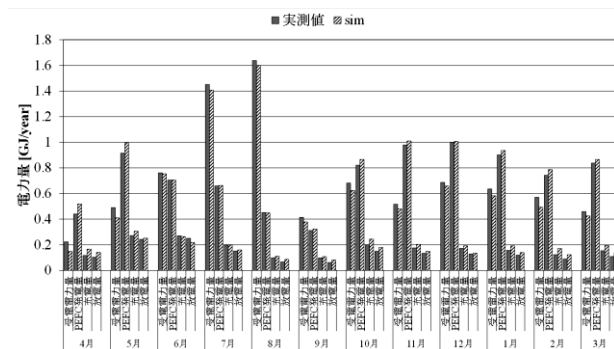


図-5 測定値と数値解析値の比較(電力量)

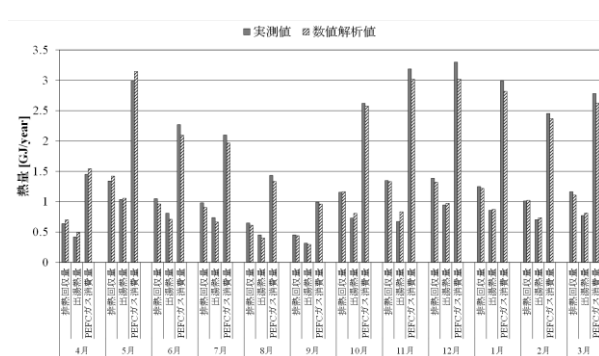


図-6 測定値と数値解析値の比較(熱量)

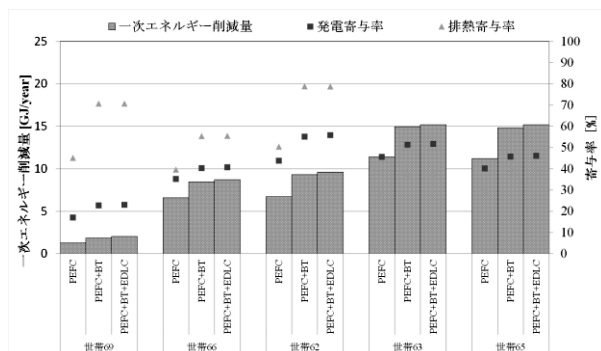


図-7 世帯別年間一次エネルギー削減量

測定値と数値解析値の比較を示す。図-6 に、排熱回収量・出湯熱量・PEFC ガス消費量における測定値と数値解析値の比較を示す。各月で比較を行い、電力量・熱量ともに測定値と数値解析値が、ほぼ合致していることを確認した。

(3)負荷データの概要

図-3 に示す負荷データの内、世帯 62, 世帯 63, 世帯 65, 世帯 66, 世帯 69 についてシミュレーション解析を実施した。図中の標準とは、改正省エネルギー法における基準電力負荷・給湯負荷のことであり、空調電力なしの場合は、エアコンの消費電力量を標準負荷から差し引いている。

(4)シミュレーション結果

図-7 に世帯別の年間一次エネルギー削減量と発電・排熱寄与率を示す。一次エネルギー削減量は、PEFC:1.3～11.4 GJ/year, PEFC+BT+EDLC:2.0～15.2 GJ/year, 発電寄与率は、PEFC:17～45%, PEFC+BT+EDLC:23～56%, 排熱寄与率は、PEFC:28～50%, PEFC+BT+EDLC:55～81%となった。これらの結果から、BD 導入によって全世帯で一次エネルギー削減量が増加するという結果が得られ、BD 導入の有効性がフィールド測定値を考慮したシ

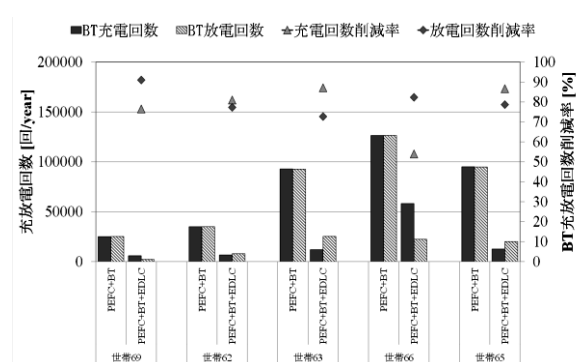


図-8 世帯別充放電回数削減率

表-5 運転シミュレーションパターン

Pattern1	Pattern2	Pattern3	Pattern4
充放電効率95% PEFC運転中 放電可能	充放電効率83% PEFC運転中 放電可能	充放電効率95% PEFC運転中 放電不可	充放電効率83% PEFC運転中 放電不可

ミュレーションでも確認された。図-8 に各世帯の BT および EDLC の年間の充放電回数と充放電回数削減率を示す。応答性の高い EDLC を優先的に充放電させることにより、最大で 86.5%, 全世帯平均して 83.9%の BT 放電回数の削減を確認した。充電回数においても最大で 77.2%, 全世帯平均して 72%の削減を確認した。この結果から、EDLC の導入が BT の負担を軽減し、長寿命化に効果的であることが示唆された。

4. 次世代型運転シミュレーション

(1)運転シミュレーション概要

充放電制御等を行うパワーコンディショナーシステム (Power Conditioner System : PCS) の次世代システムでは、直流側で充放電を行うことを想定し、効率 95%での解析も行った。世帯ごとのシミュレーションパターンについては、表-5 に示す。

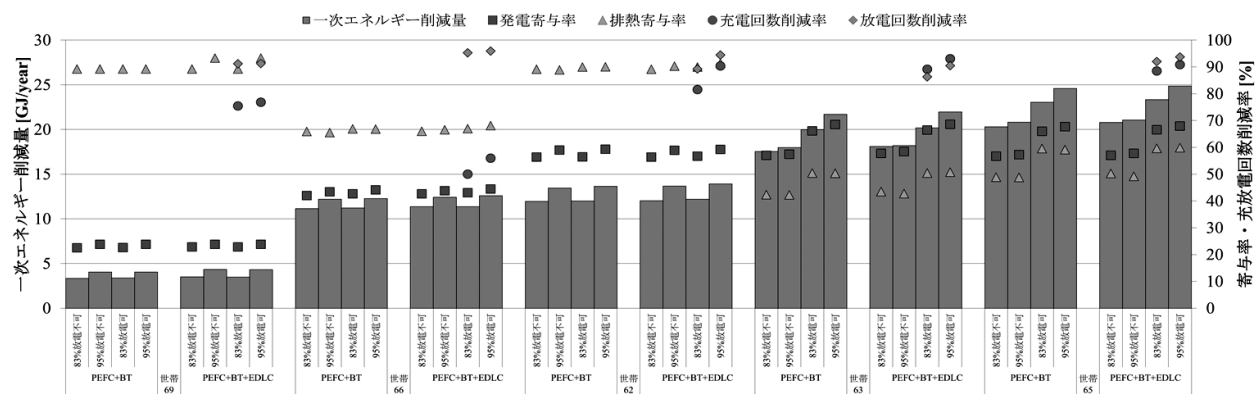


図 9 各世帯の充放電効率別年間一次エネルギー削減量比較

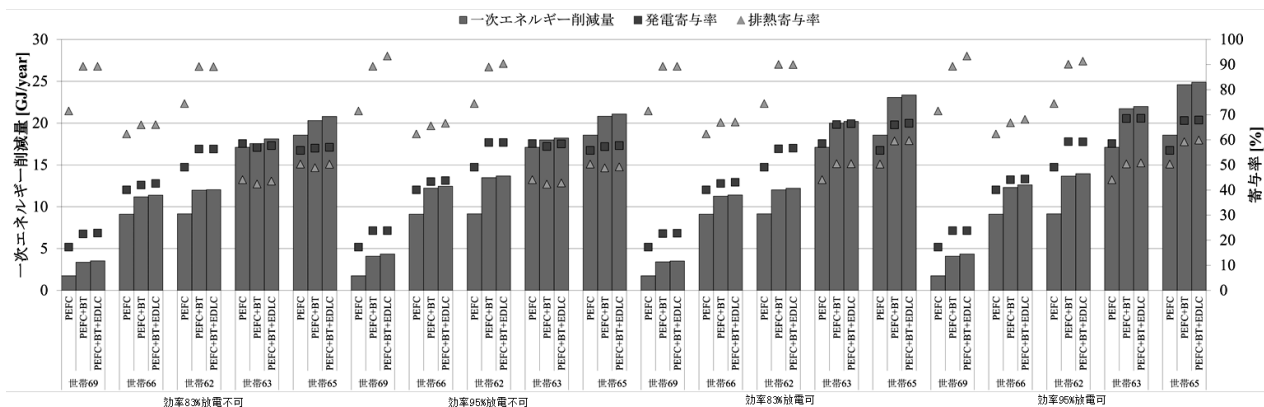


図 10 世帯別年間一次エネルギー削減量

(2)シミュレーション結果

図-9 に世帯別で表 5 のパターンのシミュレーション結果について、一次エネルギー削減量と発電寄与率、排熱寄与率、充放電回数削減率を示す。パターンと世帯を代表して **Pattern1** の世帯 65，PEFC+BT+EDLC を選定して結果について解説する。一次エネルギー削減量は、24.8 GJ/year，発電寄与率は 68%，排熱寄与率は 60%であった。充放電回数削減率については、放電回数削減率は 94%，充電回数削減率は 91%となった。図-10 に世帯別の年間一次エネルギー削減量と発電寄与率と排熱寄与率を示す。**Pattern1** の場合、一次エネルギー削減量は、PEFC:1.7～18.5 GJ/year，PEFC+BT+EDLC:4.3～24.8 GJ/year，発電寄与率は、PEFC:17～58%，PEFC+BT+EDLC:23～68%，排熱寄与率は、PEFC:44～74%，PEFC+BT+EDLC:51～93%となった。4 つのパターンの内、Pattern1 の充放電効率 95%・PEFC 運転中放電可能の場合で最も一次エネルギー削減効果大きいという結果が得られた。

5. まとめ

- 1) フィールド実測から得られた測定値を基に、運転シミュレーションを作成した。測定値と数値解析値の比較を行うことで電力・熱量ともに合致していることを確認した。
- 2) 充放電回数削減率は放電回数において全世界平均 83.9%，充電回数は、72%削減でき EDLC の導入が BT の負担を軽減し、長寿命化に効果的であることが示唆された。
- 3) 次世代型運転シミュレーション方法を検討し、数値解析を行った。充放電効率と PEFC 運転中の放電有無によって世帯ごとに、実負荷を用いて数値計算を行った。
- 4) 充放電効率 95%・PEFC 運転中放電可能での一次エネルギー削減量は、PEFC:1.7～18.5 GJ/year，PEFC+BT+EDLC: 4.3～24.8 GJ/year となった。

参考文献

- 1) 濱田 靖弘ら；燃料電池・太陽電池・バッファデバイスを導入した家庭用エネルギーシステムに関する研究 (第 1～8 報)，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2011-2015)