家庭用燃料電池を用いた北海道における一次エネルギー削減効果に関する研究

佐藤 広基
指導教員　赤林 伸一 教授

1 研究目的

東日本大震災の影響により、2015 年 1 月時点で日本国内ではベース電力の大半を賄っていた原子力発電所が全面停止している。そこで代替電源として家庭用燃料電池コージェネレーションシステム（FCCGS）による自家発電の導入が考えられる。本研究では、東日本大震災前後の北海道電力の発電構成・電力供給量を対象として、固体酸化物形燃料電池（SOFC）及び固体高分子形燃料電池（PEFC）を北海道内に約 23 万台※1 設置し、稼働させる。既報[文1)]で算出した年間の時刻別一次エネルギー消費原単位を用いて、年間の一次エネルギー削減量を算出し、家庭用 FCCGS の分散型電源としての導入効果を評価する事を目的とする。

2 研究概要

2.1 解析対象：表 1 に家庭用 FCCGS の性能を示す。対象住戸は北海道内の戸建及び集合住宅とする。住宅モデルは、戸建住宅に日本建築学会住宅用標準問題モデル、集合住宅に片廊下型板状タイプの中間階・中間住戸タイプを、気象データには気象庁が公表している札幌市の気象データ[文2)]を代表として用いる。

2.2 住宅負荷：図 1 に電力消費・給湯スケジュールの一例を示す。電力消費スケジュールは生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE[文3)]を用いて各種機器・照明発熱データを、熱負荷シミュレーションソフト TRNSYS を用いて空調負荷をそれぞれ算出し、年間の電力消費スケジュールを作成する。給湯スケジュールは、気象データの外気温データ及び IBEC[文4)]の給水温度推定式を基に、日平均給水温度を算出する。算出した給水温度及び使用温度（40℃）における日給湯量[文5)]を基に、貯湯温度（70℃）での時刻別給湯量を算出し、年間の給湯スケジュールを作成する。

2.3 解析条件：表 2 に解析 case を、表 3 に家庭用 FCCGS の運転条件を示す。比較対象住宅（従来住宅）及び家庭用 FCCGS 設置住宅（FC 住宅）の住宅種別・仕様、電力消費・給湯スケジュールは同じとする。両住宅共に空調はエアコン（空調平均 COP:3.0）で行い、給湯は従来住宅は高効率ガス給湯器（熱効率：95%）、FC 住宅は家庭用 FCCGS で賄う。FC 住宅の発電余剰電力は逆潮流※4 させ、湯量不足時にはバックアップボイラ（熱効率：95%）を用いる。世帯人員数※3、電源構成、燃料電池の運転・設置条件をパラメータとして家庭用 FCCGS 導入前後の一次エネルギー削減量を算出し評価を行う。尚、家庭用 FCCGS を多数設置した際の導入効果を検討する場合、FC の発電電力により系統電力負担分の電力需要が低減される為、FC 設置前後において北海道電力の一次エネルギー消費原単位が減少し、北海道全体の従来住宅及び非住宅部門においても一次エネルギー消費量は減少すると考えられる。そこで、従来住宅及び非住宅部門も考慮し、導入効果の検討を行う。

表 1　家庭用 FCCGS の性能

燃料電池の種類		PEFC-Ⅰ	PEFC-Ⅱ	SOFC-Ⅰ		SOFC-Ⅱ	
性能水準		現行仕様		現行仕様		将来仕様	
燃料種類		都市ガス	LPガス	都市ガス	LPガス	都市ガス	LPガス
定格効率 (HHV)[%]	発電	35.2	34.3	42		49.6	
	熱回収	50.6	50.5	39.2		27.1	
	総合	85.8	84.8	81.2		76.7	
定格出力[kW]	発電	0.75	0.70	0.70		0.70	
	熱回収	1.08	1.00	0.65		0.38	
ガス消費量[kW]		2.13	2.04	1.67		1.41	
貯湯タンク容量[ℓ]		147	200	90		30	
起動到達時間[min]		50		-			
貯湯温度[℃]		70					
バックアップボイラ熱効率[%]		95					

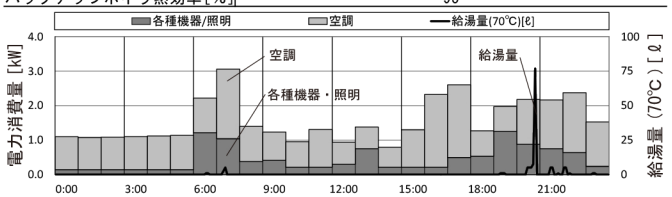

図 1　電力消費・給湯スケジュールの一例
（札幌市、冬季最寒日※2:2012 年 12 月 26 日（水）、戸建住宅：3 人※3）

表 2　解析 case

解析case	世帯人員数 戸建住宅	世帯人員数 集合住宅	電源構成（供給実績値）	燃料電池の条件 運転条件	燃料電池の条件 設置条件 戸建住宅	燃料電池の条件 設置条件 集合住宅
case1	戸建:3人	集合:2人	原発なし(2012年)	定格運転	SOFC-Ⅰ(現行:90ℓ)	PEFC-Ⅰ
case2	戸建:4人	集合:3人	原発なし(2012年)	定格運転	SOFC-Ⅰ(現行:90ℓ)	PEFC-Ⅰ
case3	戸建:3人	集合:2人	原発あり(2011年)	定格運転	SOFC-Ⅰ(現行:90ℓ)	PEFC-Ⅰ
case4	戸建:3人	集合:2人	原発なし(2012年)	電主運転	SOFC-Ⅰ(現行:90ℓ)	PEFC-Ⅰ
case5	戸建:3人	集合:2人	原発なし(2012年)	定格運転	SOFC-Ⅱ(将来:30ℓ)	PEFC-Ⅰ
case6	戸建:3人	集合:2人	原発なし(2012年)	定格運転	PEFC(Ⅰ90%+Ⅱ10%)	SOFC-Ⅰ(現行:90ℓ)
case7	戸建:3人	集合:2人	原発なし(2012年)	定格運転	PEFC(Ⅰ90%+Ⅱ10%)	SOFC-Ⅱ(将来:30ℓ)

表 3　家庭用 FCCGS の運転条件

SOFC	①終日定格運転		・定格出力で運転を行う。(逆潮流※4あり)
	②終日電主運転		・電力需要に追従して運転を行う。(逆潮流なし)
	③ピーク時定格運転 他電主運転		・ピーク時(13:00～16:00)を定格出力で運転を行い、それ以外の時間帯は電力需要に追従して運転を行う。(ピーク時:逆潮流あり、その他:逆潮流なし)
	稼動条件		・SOFCは24時間365日運転し続けるものとする。 ・余剰排熱はファンにより大気中に放熱する。
PEFC	①運転時定格運転		・定格出力で運転を行う。(逆潮流※4あり)
	②運転時電主運転		・電力需要に追従して運転を行う。(逆潮流なし)
	③ピーク時定格運転 他電主運転		・ピーク時(13:00～16:00)を定格出力で運転を行い、それ以外の時間帯は電力需要に追従して運転を行う。(ピーク時:逆潮流あり、その他:逆潮流なし)
	共通条件	起動条件	・起動時刻は給湯需要のピークを迎える20:45から稼働時間を逆算し、決定する。 ・発電開始時刻が13時以降になる場合、発電開始時刻は13時とする。
		停止条件	・作湯量が日積算給湯需要を満たした場合、貯湯タンクが満蓄になった場合、及び発電時間が20時間に達した場合に発電を停止する。 ・起動停止は1日1回とし、1日当たり4時間は強制的に停止する。

3　解析結果

3.1　一世帯・一日当たりの解析結果：図２、３に PEFC-Ⅰ及び SOFC-Ⅰにおける家庭用 FCCGS 稼働状態及び各種電力量の日推移を示す。冬季最寒日※2において PEFC-Ⅰの稼働時間は 14 時間 20 分であり、日積算電力消費量の 38.3%を家庭用FCCGSによって賄うことができる。又、SOFC-Ⅰは逆潮流電力量が 1.0kW であり、日積算電力消費量の55.8%を家庭用FCCGSによって賄うことができる。

3.2　北海道における年間の解析結果：図４に日積算一次エネルギー削減量の年変化（case1）を示す。case1 の場合、FC 住宅全体の年積算一次エネルギー削減量は約 1.1PJ となる。又、家庭用 FCCGS の導入により北海道電力の一次エネルギー消費原単位が低下する為、家庭用 FCCGS 導入前後で同等の電力需要量である従来住宅及び非住宅部門においても、一次エネルギー消費量が減少する。その為、北海道内における年積算一次エネルギー削減量は、全体で約 3.9PJ となる。

図５に年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5を示す。世帯人員数の違い（case1,2）で比較すると case2 では給湯の需要量が相対的に多い為、一次エネルギー削減量が増加する。電源構成の違い（case1,3）で比較すると case3 では原発が稼働している為、系統電力の一次エネルギー消費原単位が小さく、FC 住宅では一次エネルギー消費量が増加する。しかし、従来住宅及び非住宅部門では一次エネルギー消費量が減少する為、全体の一次エネルギーは削減される。削減率は他の case と比較して小さく、0.3%程度となる。設置条件の違い（case1,5,6,7）で比較すると、case7 の戸建住宅に PEFC（Ⅰ:90%＋Ⅱ:10%）を、集合住宅に SOFC-Ⅱを設置した場合の一次エネルギー削減量が約 4.4PJ と４つの case の中では最も多い。

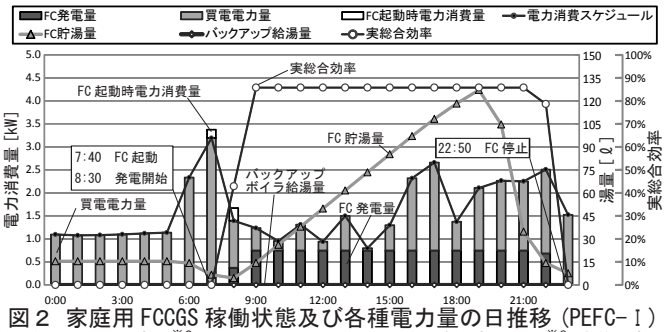

図２ 家庭用 FCCGS 稼働状態及び各種電力量の日推移（PEFC-Ⅰ）
（札幌市、冬季最寒日※2:2012 年 12 月 26 日（水）、戸建住宅：３人※3、定格運転）

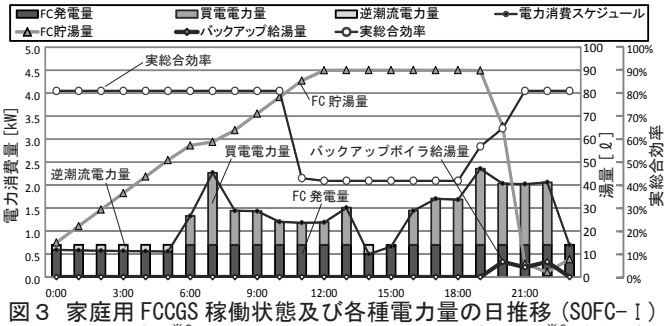

図３ 家庭用 FCCGS 稼働状態及び各種電力量の日推移（SOFC-Ⅰ）
（札幌市、冬季最寒日※2:2012 年 12 月 26 日（水）、集合住宅：２人※3、定格運転）

4　まとめ

①世帯人員数が３人の戸建住宅に PEFC-Ⅰを設置した場合、冬季最寒日において家庭用 FCCGS の稼働時間は 14 時間 20 分であり、日積算電力消費量の 38.3%を家庭用 FCCGS によって賄うことができる。

②世帯人員数の違い（case1,2）で比較すると、case2 では給湯の需要量が相対的に多い為、一次エネルギー削減量が増加する。

③電源構成の違い（case1,3）で比較すると、case3 では原発が稼働している為、系統電力の一次エネルギー消費原単位が小さく、FC 住宅では一次エネルギー消費量が増加する。しかし、従来住宅及び非住宅部門では一次エネルギー消費量が減少し、全体での削減率は0.3%程度となる。

④設置条件の違い（case1,5,6,7）で比較すると、case7 の戸建住宅に PEFC（Ⅰ:90%＋Ⅱ:10%）を、集合住宅に SOFC-Ⅱを設置した場合の一次エネルギー削減量が約 4.4PJ と４つの case の中では最も多い。

※1　2030 年の FC 普及目標値である 530 万台を全国の世帯数で按分した値。北海道内の FC 設置台数は戸建住宅で約 13 万台、集合住宅で約 10 万台とする。
※2　2012 年度の冬季（11 月～３月）において最も低い日平均外気温を記録した日。
※3　世帯人員数は戸建住宅３人、集合住宅２人のケース及び戸建住宅４人、集合住宅３人のケースの２パターンとする。
※4　自家発電により発電した余剰電力を電力会社線側に逆流させること。現在、電力会社は家庭用 FCCGS からの逆潮流を認めていない。
※5　汽力発電の燃料消費量[文6] 及び都市ガスと LP ガスの消費量[文7] の合計を基に算出する。

文１）赤林ら：「家庭用燃料電池による一次エネルギー削減効果に関する研究その１～２」日本建築学会大会学術講演梗概集，2014 年
文２）気象庁：http://www.jma.go.jp/jma/index.html
文３）空気調和衛生工学会：住宅消費エネルギー計算法委員会
文４）建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断基準：http://www.ibec.or.jp
文５）前、高須ら：「住宅における給湯日消費量の季節・短期変動」日本建築学会環境系論文集，No.622，2007 年 12 月
文６）電気事業連合会：電力統計情報：燃料実績：http://www.fepc.or.jp
文７）日本ガス協会：ガス事業便覧（平成 25 年版）

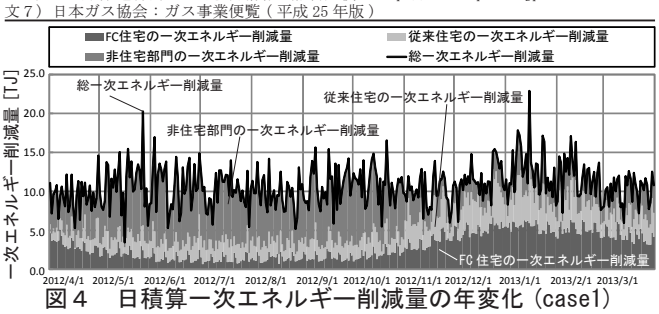

図４　日積算一次エネルギー削減量の年変化（case1）

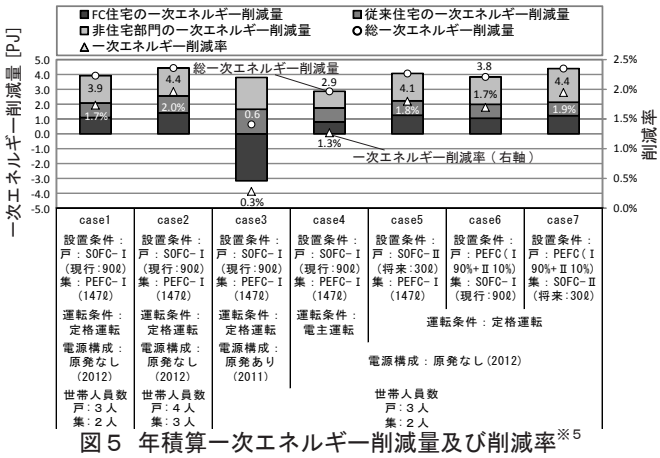

図５　年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5