

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

T 1 1 K 6 8 1 H 佐藤 広基
指導教員 赤林 伸一 教授

東日本大震災の影響により、2015年2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。

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。

燃料電池ユニット

貯湯ユニット

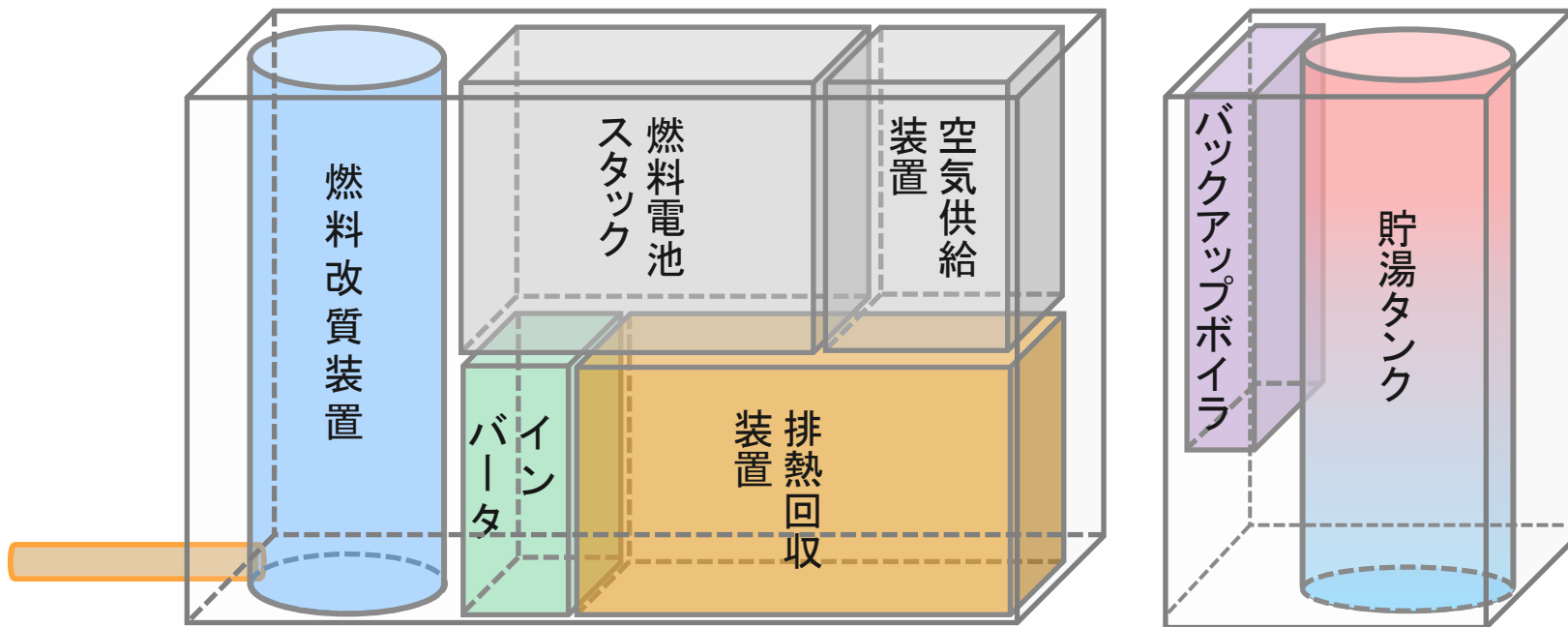


図 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの構成

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、家庭用FCCGSを北海道内に約23万台※¹設置し、稼働させる。

※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。

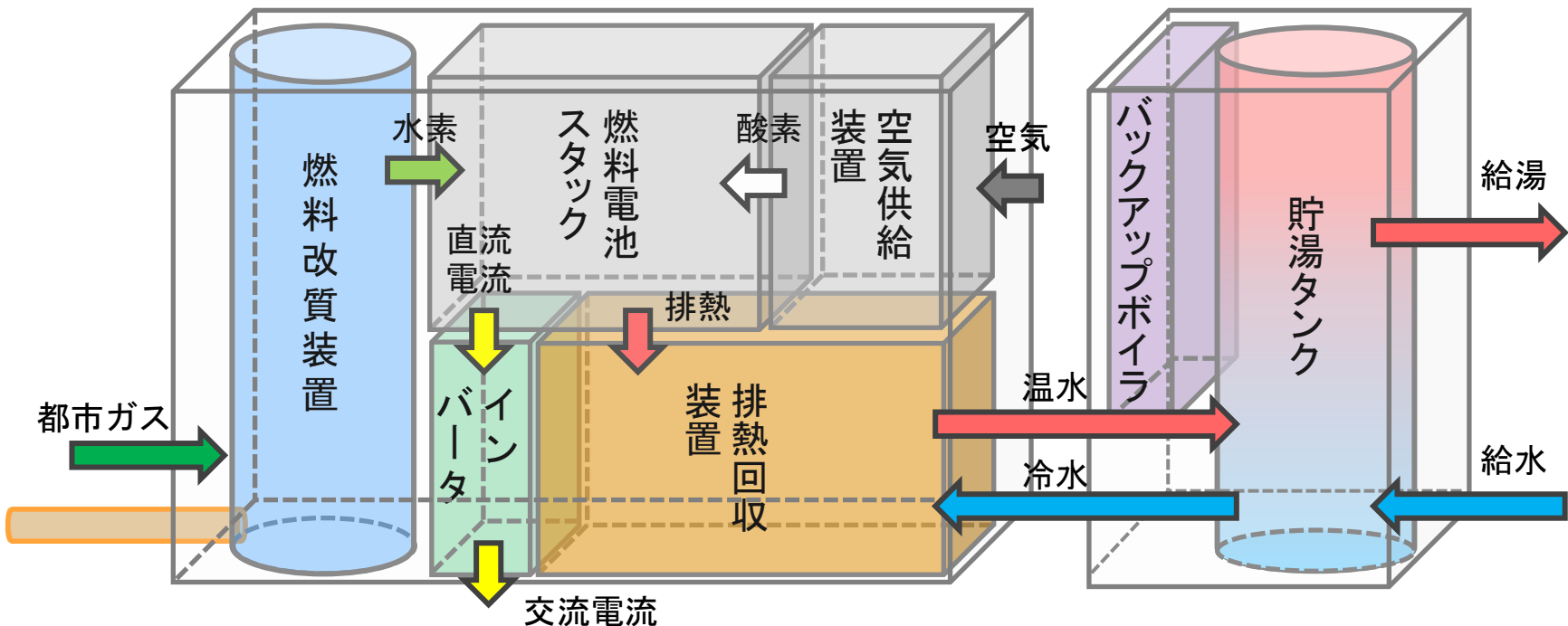


図 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの構成

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。

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

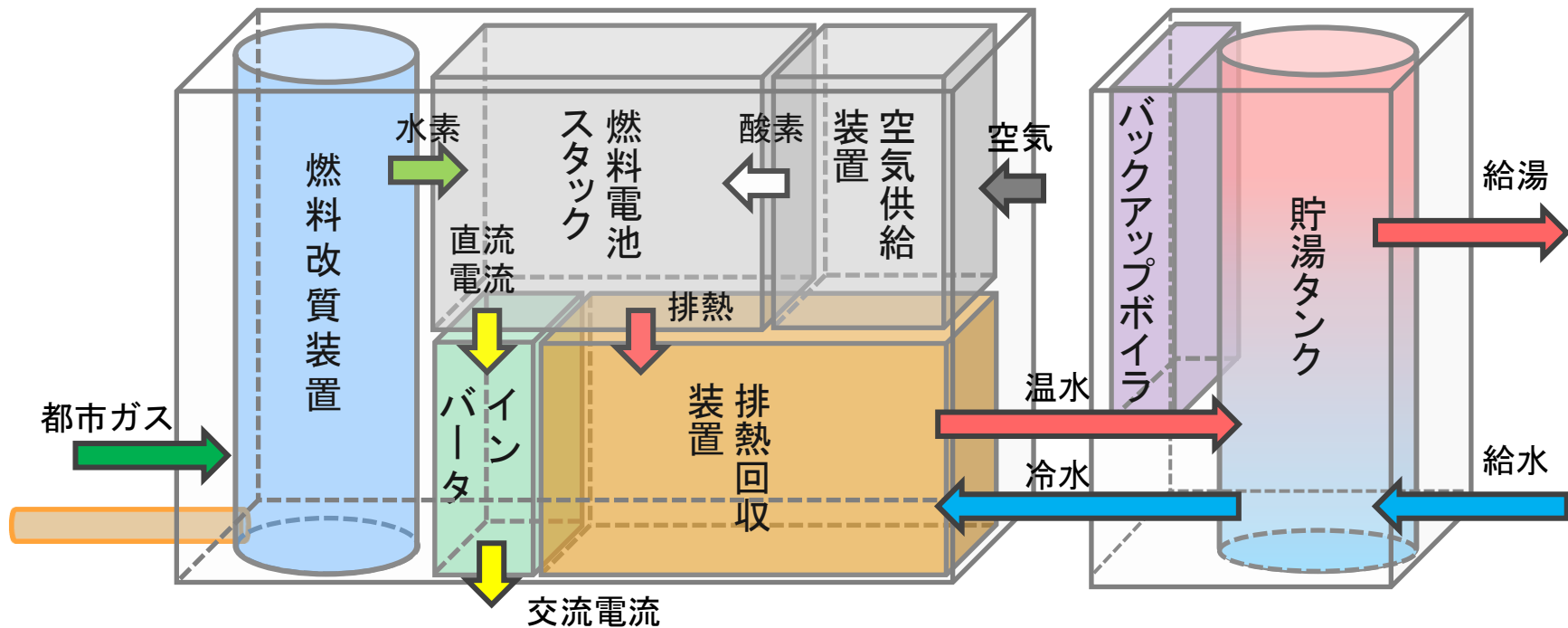
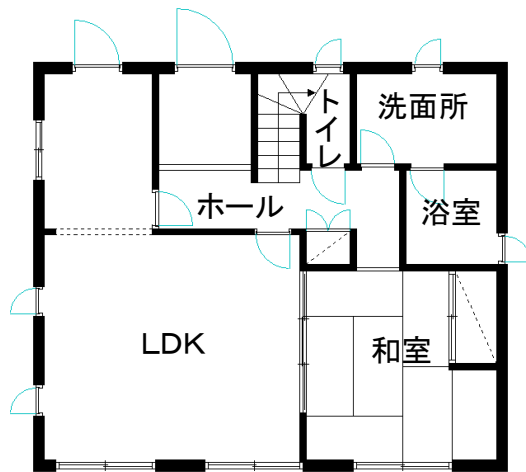


図 家庭用燃料電池コージェネレーションシステムの構成

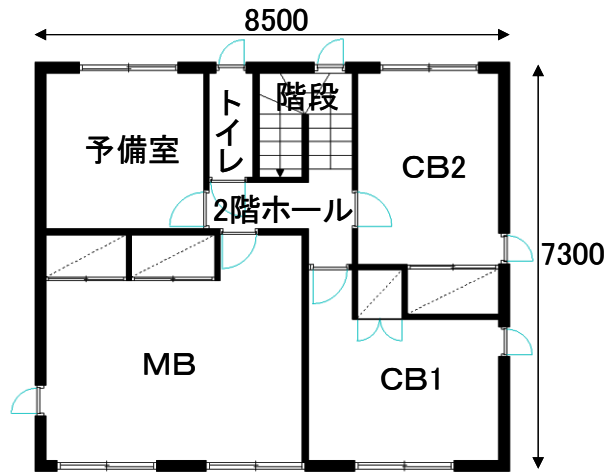
解析対象地域…北海道内の戸建及び集合住宅

解析対象住宅…戸建住宅:日本建築学会住宅用標準問題モデル

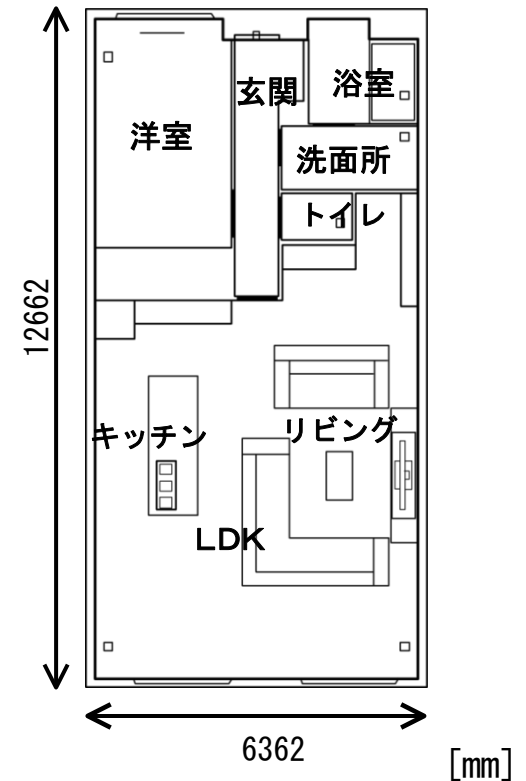
集合住宅:片廊下型板状タイプの間階・中間住戸モデル



(1) 戸建住宅 1階



(2) 戸建住宅 2階



(3) 集合住宅

図 解析対象住宅モデル平面図

燃料電池の種類は **4種類** とし、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。

文2) 気象庁:<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

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 [°C]				70			
バックアップボイラ熱効率 [%]				95			

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。

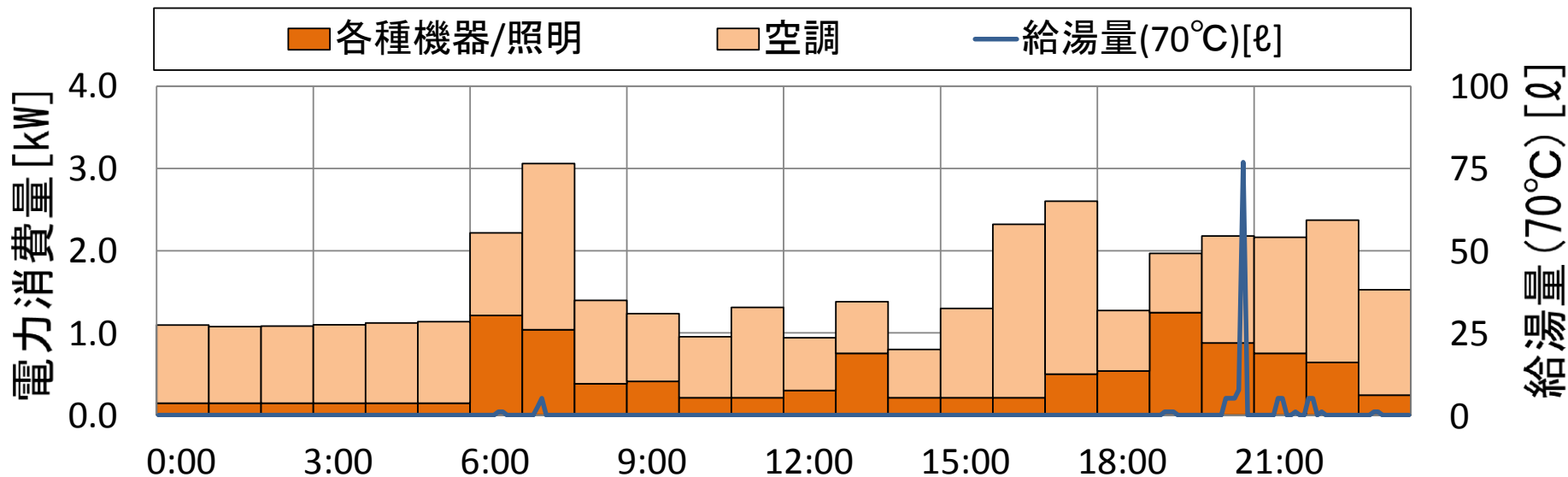


図1 電力消費・給湯スケジュールの一例

(冬季最寒日^{※2} : 2012年12月26日(木), 戸建住宅: 3人^{※3})

※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。

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

給湯スケジュールは、気象データ^{文2)}の外気温データを基に、給水温度^{文4)}を求め、時刻別の給湯量(40°C)を算出する事で、年間の給湯スケジュール(70°C)を作成する。

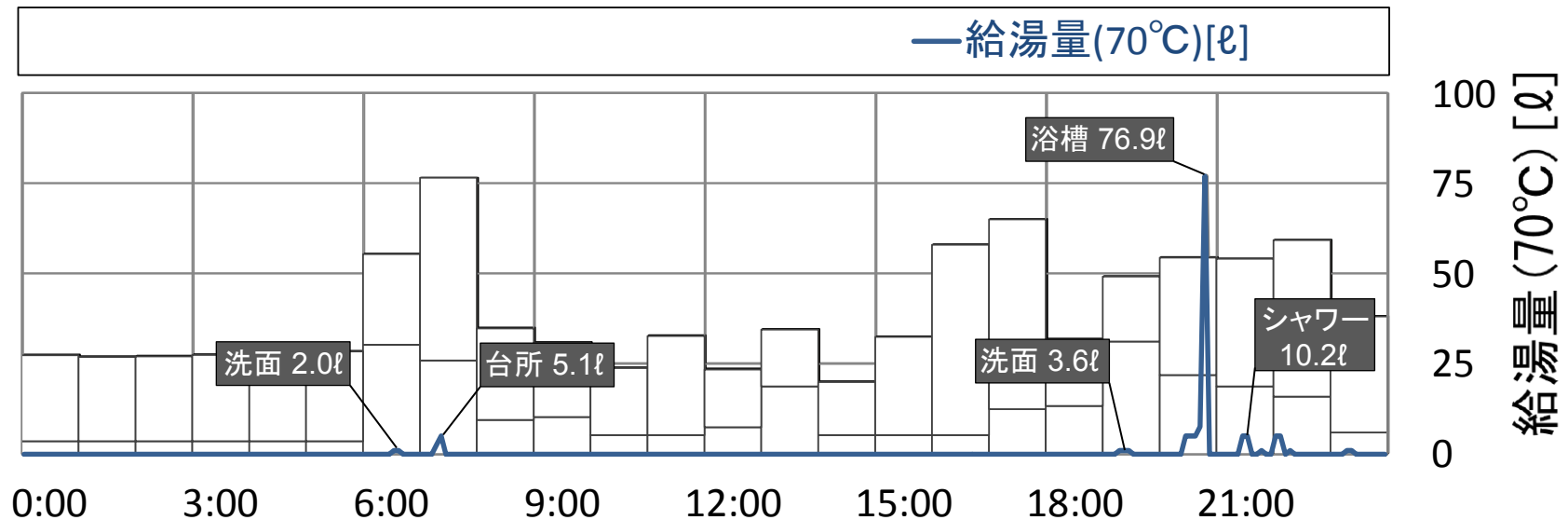


図1 電力消費・給湯スケジュールの一例

(冬季最寒日^{※2} : 2012年12月26日(木), 戸建住宅: 3人^{※3})

- ※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。
- 文2) 気象庁:<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 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>

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。

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)
	稼働条件	・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
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。

※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。

両住宅共に空調はエアコン(空調平均COP:3.0)で行い、給湯は従来住宅で高効率ガス給湯器(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。

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)
	稼働条件	・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
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。

※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。

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。

※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。

表2 解析case

解析case	世帯人員数		電源構成 (供給実績値)	運転条件	燃料電池の条件	
	戸建住宅	集合住宅			設置条件	
					戸建住宅	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(I 90%+ II 10%)	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(I 90%+ II 10%)	SOFC-II(将来:30ℓ)

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する。

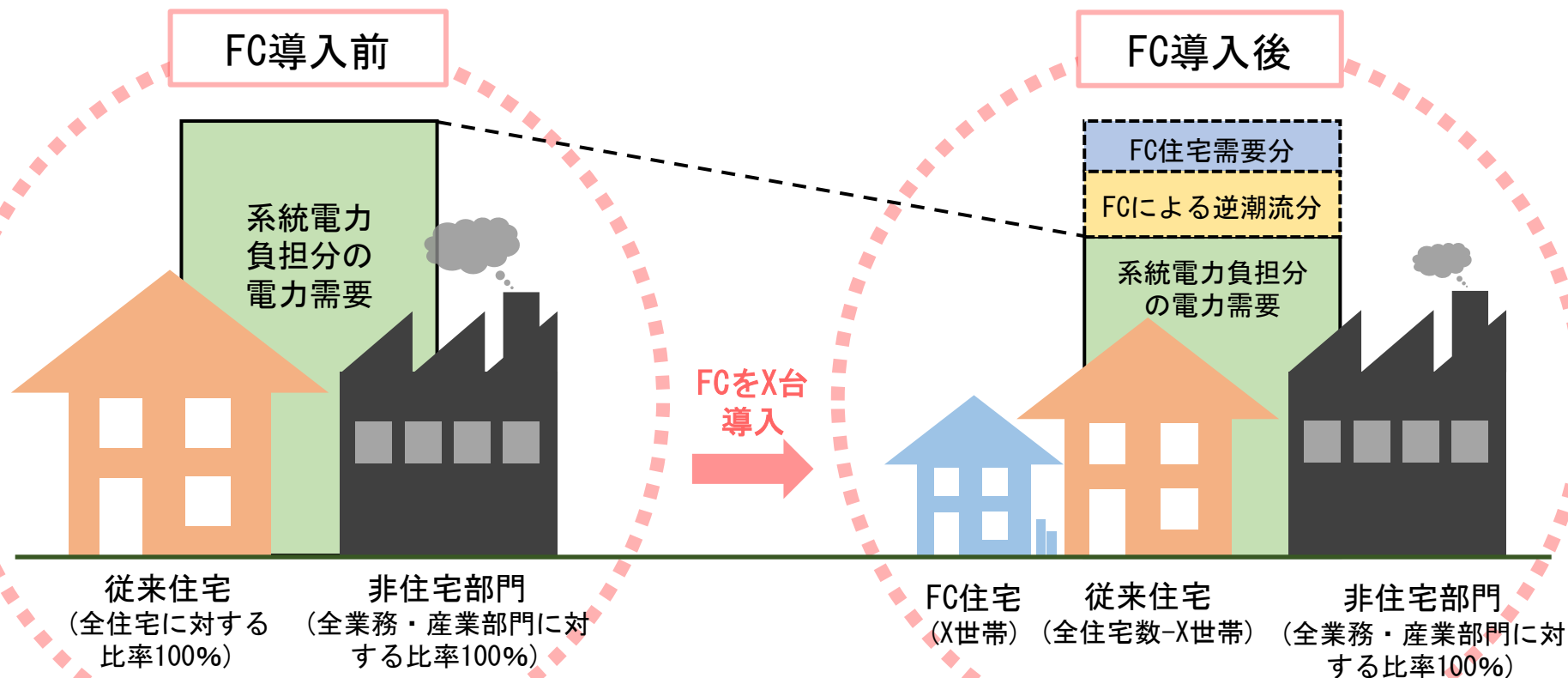


図 一次エネルギー削減量の算出概要

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。

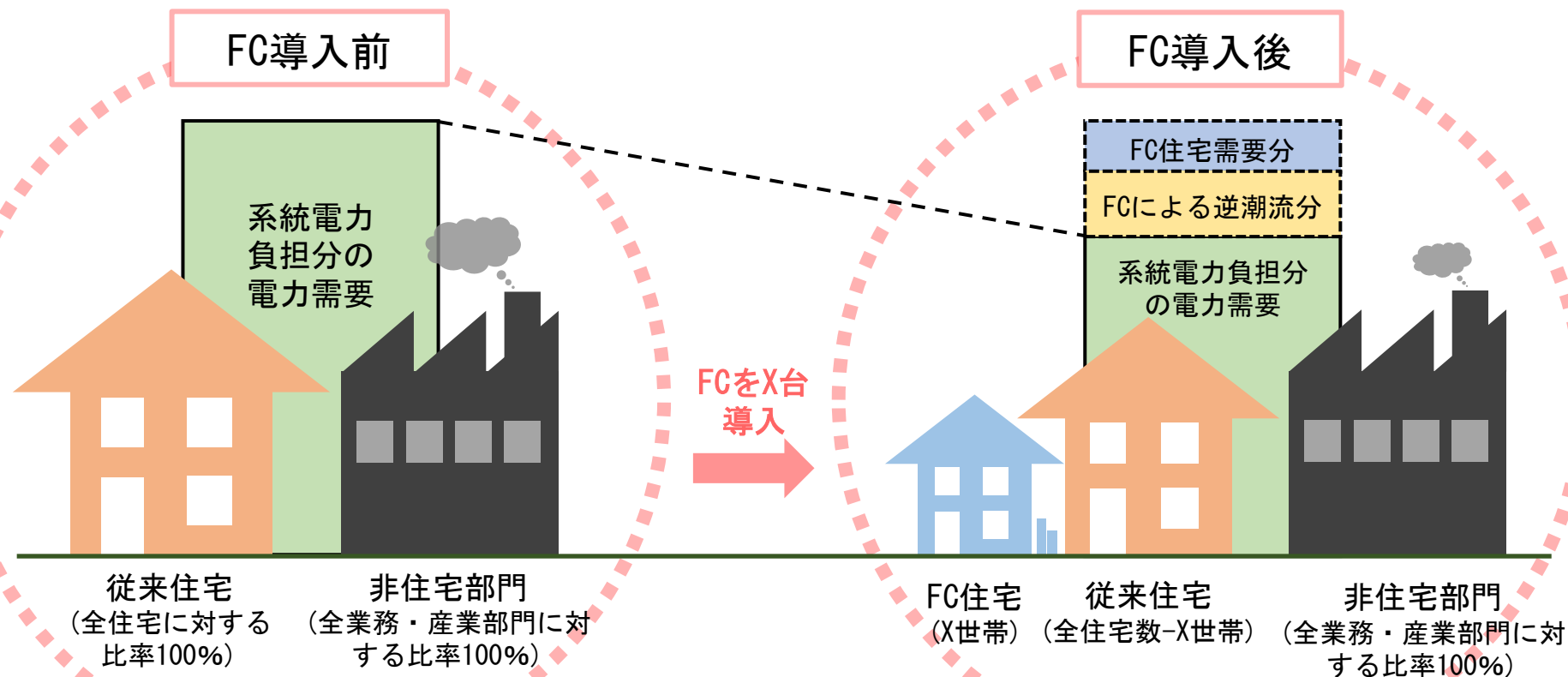


図 一次エネルギー削減量の算出概要

解析結果(一世帯・一日当たりの解析結果)

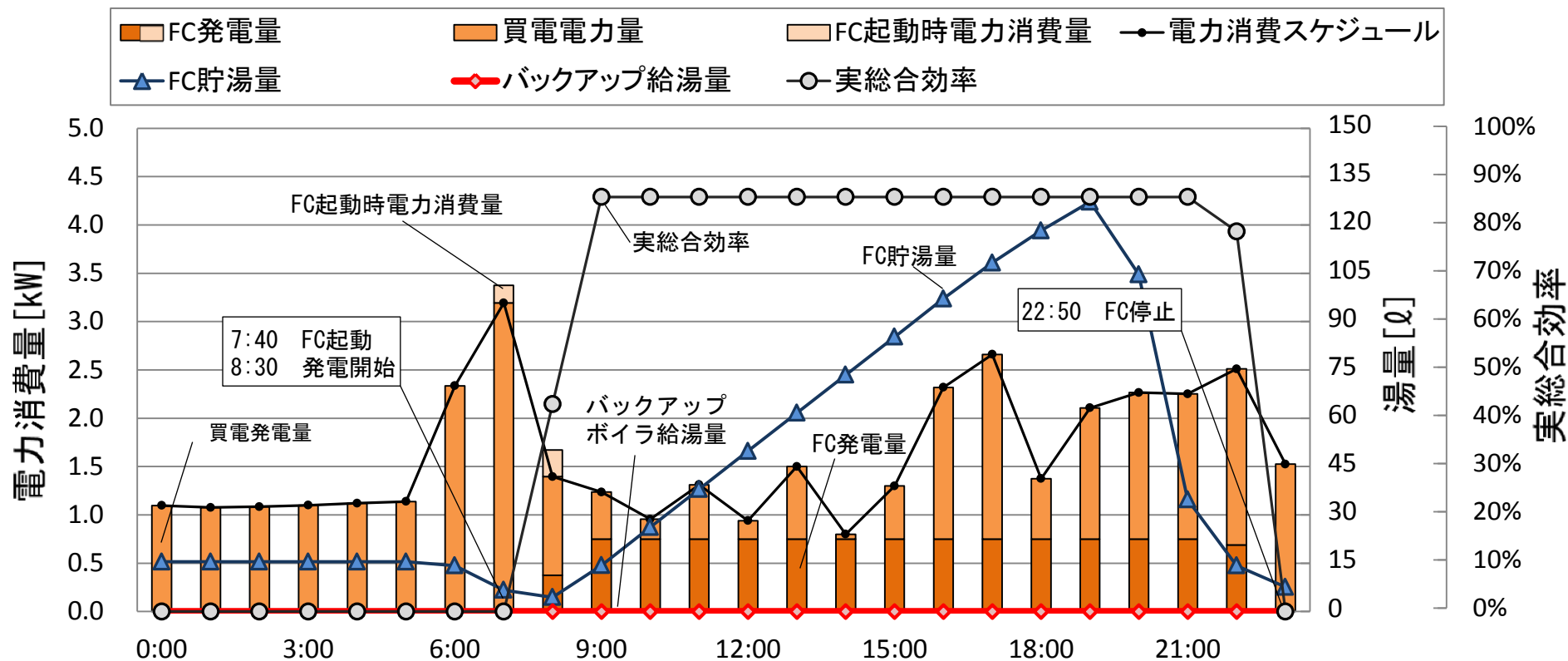


図2 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移 (PEFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日※²:2012年12月26日(木), 戸建住宅:3人※³, 定格運転)

※² 2012年度の冬季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。

冬季最寒日において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FCGSによって賄うことができる。

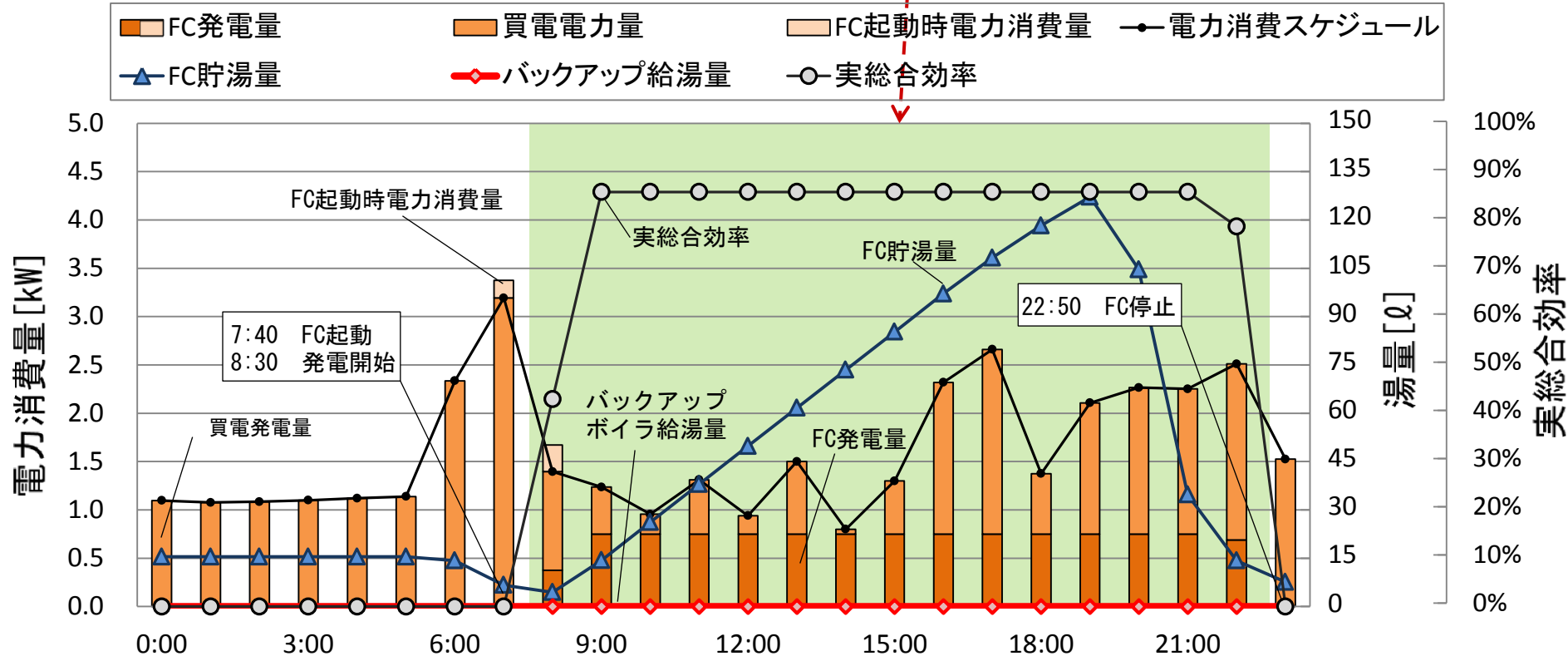


図2 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移(PEFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日※²:2012年12月26日(木), 戸建住宅:3人※³, 定格運転)

※² 2012年度の冬季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。

冬季最寒日において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FCGSによって賅うことができる。

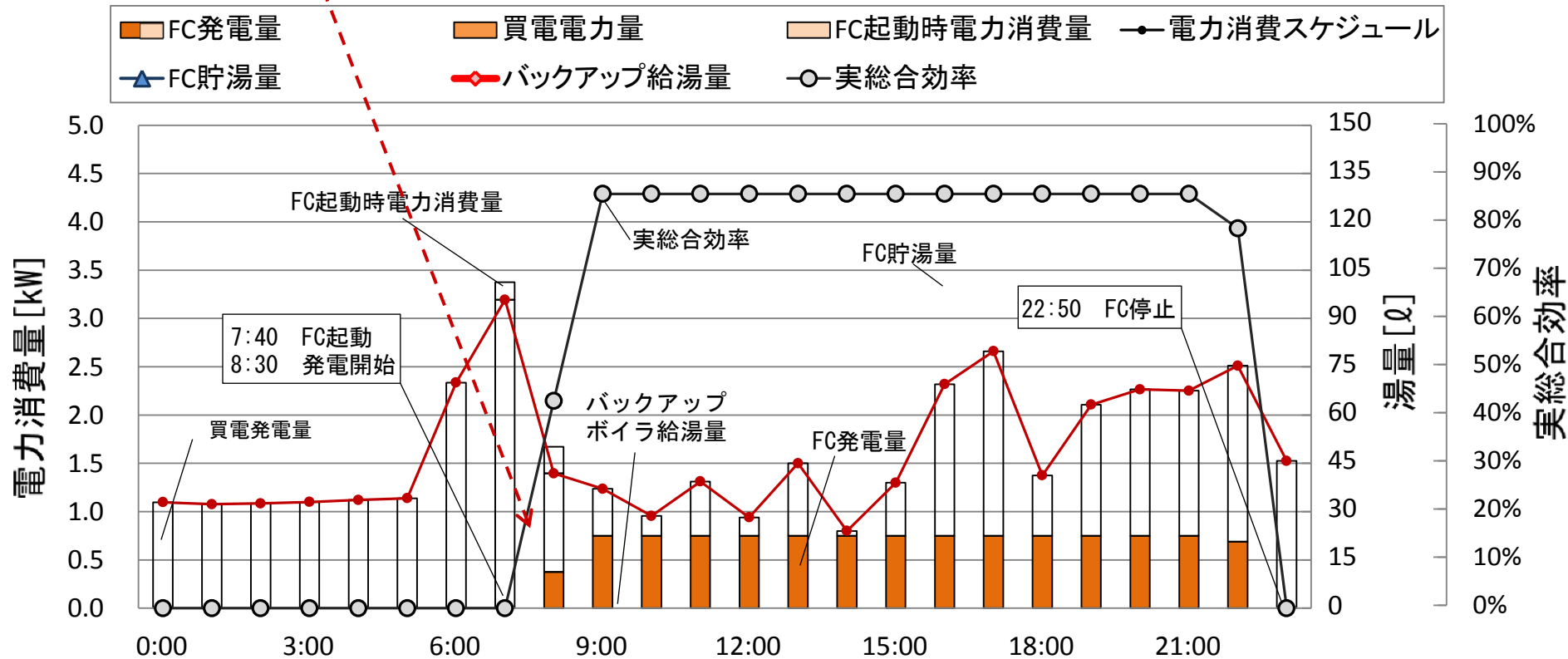


図2 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移(PEFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日^{※2}:2012年12月26日(木), 戸建住宅:3人^{※3}, 定格運転)

※2 2012年度の冬季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。

解析結果(一世帯・一日当たりの解析結果)

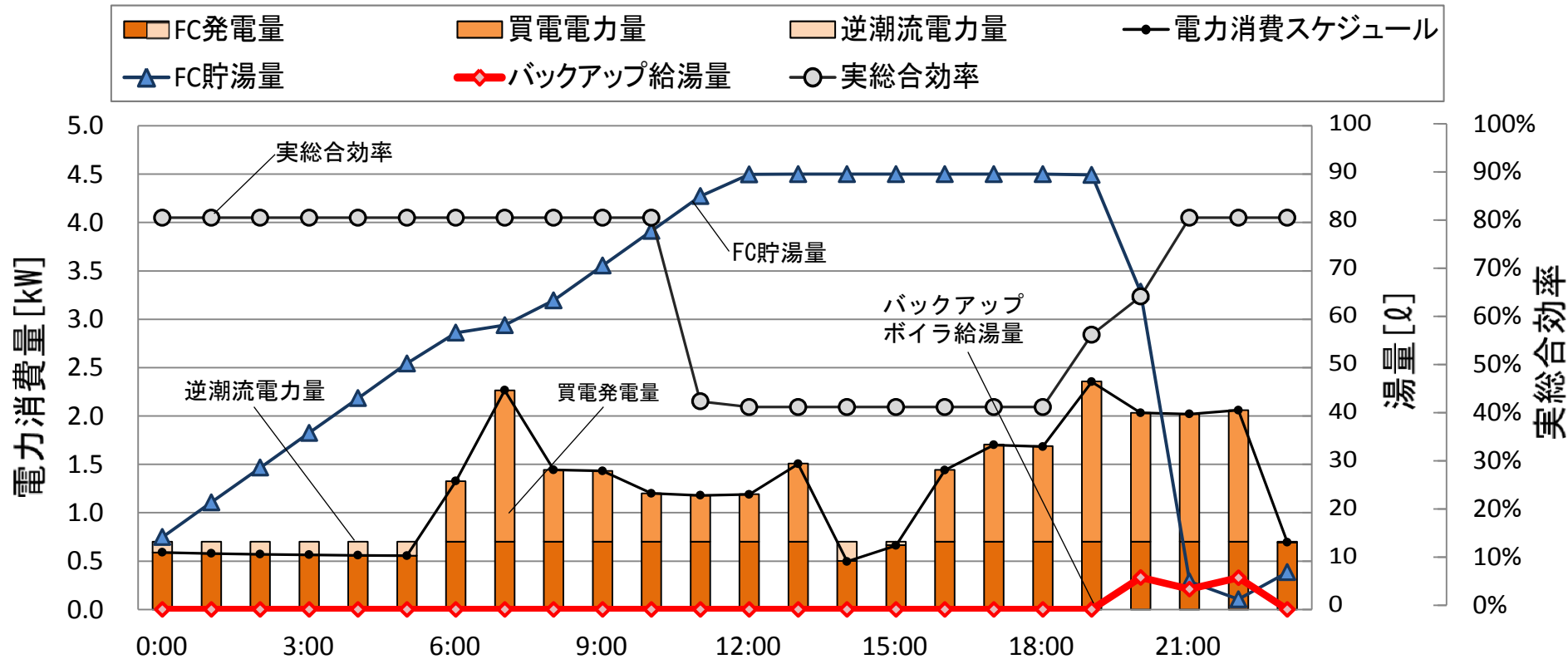


図3 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移(SOFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日※²:2012年12月26日(木), 集合住宅: 2人※³, 定格運転)

※² 2012年度の冬季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。

SOFC-I は 逆潮流電力量が1.0kWh であり、日積算電力消費量の52.4%を家庭用FCGSによって賄うことができる。

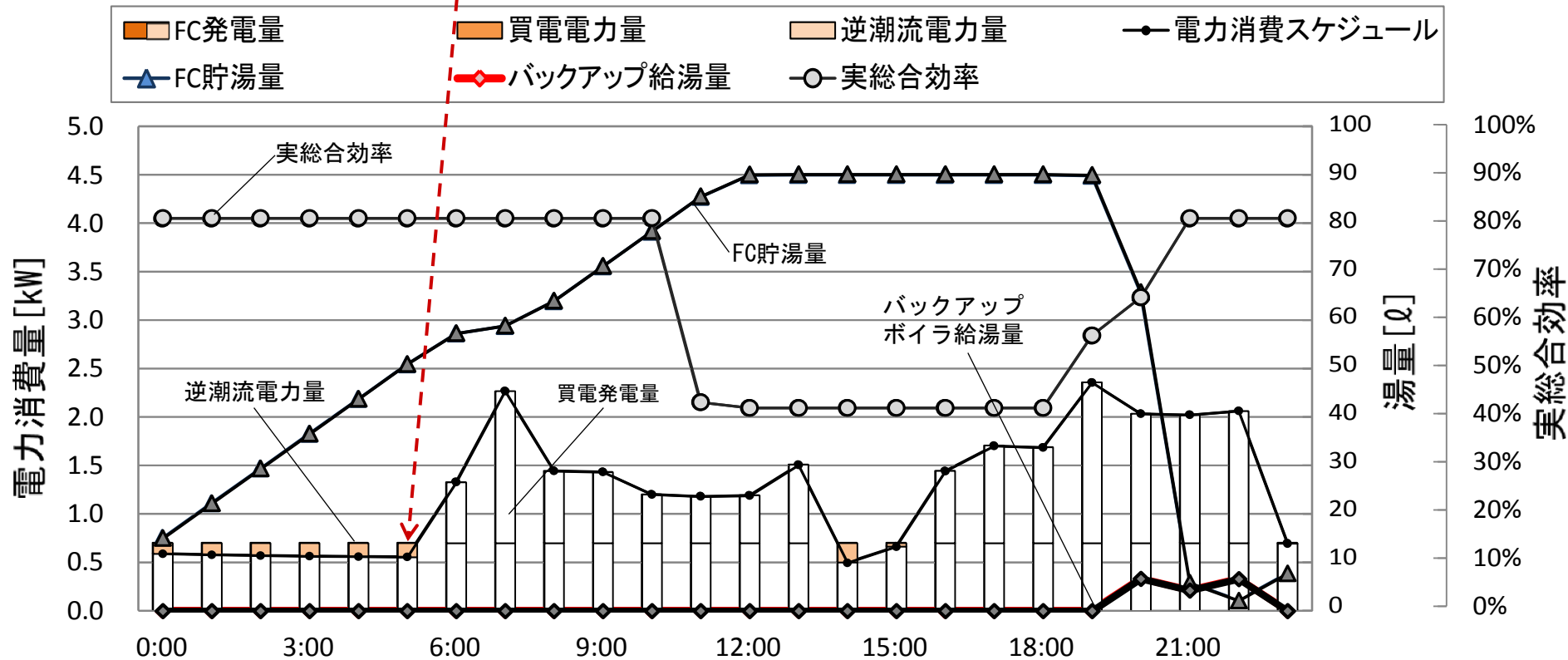


図3 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移 (SOFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日※²:2012年12月26日(木), 集合住宅: 2人※³, 定格運転)

※² 2012年度の冬季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。

SOFC-I は 逆潮流電力量が1.0kWhであり、日積算電力消費量の52.4%を家庭用FCGSによって賄うことができる。

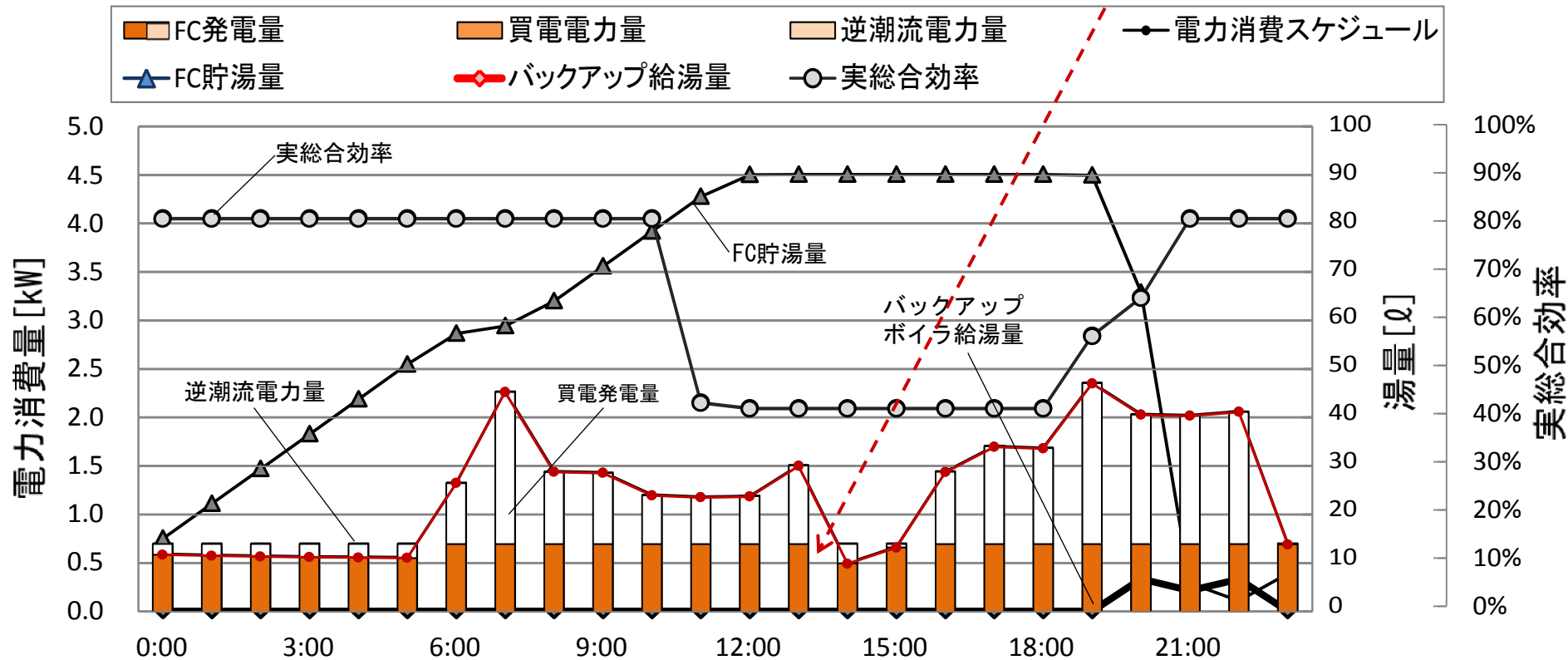


図3 家庭用FCGS稼働状態及び各種電力量の日推移(SOFC-I)

(札幌市, 冬季最寒日※²:2012年12月26日(木), 集合住宅: 2人※³, 定格運転)

※² 2012年度の冬季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。

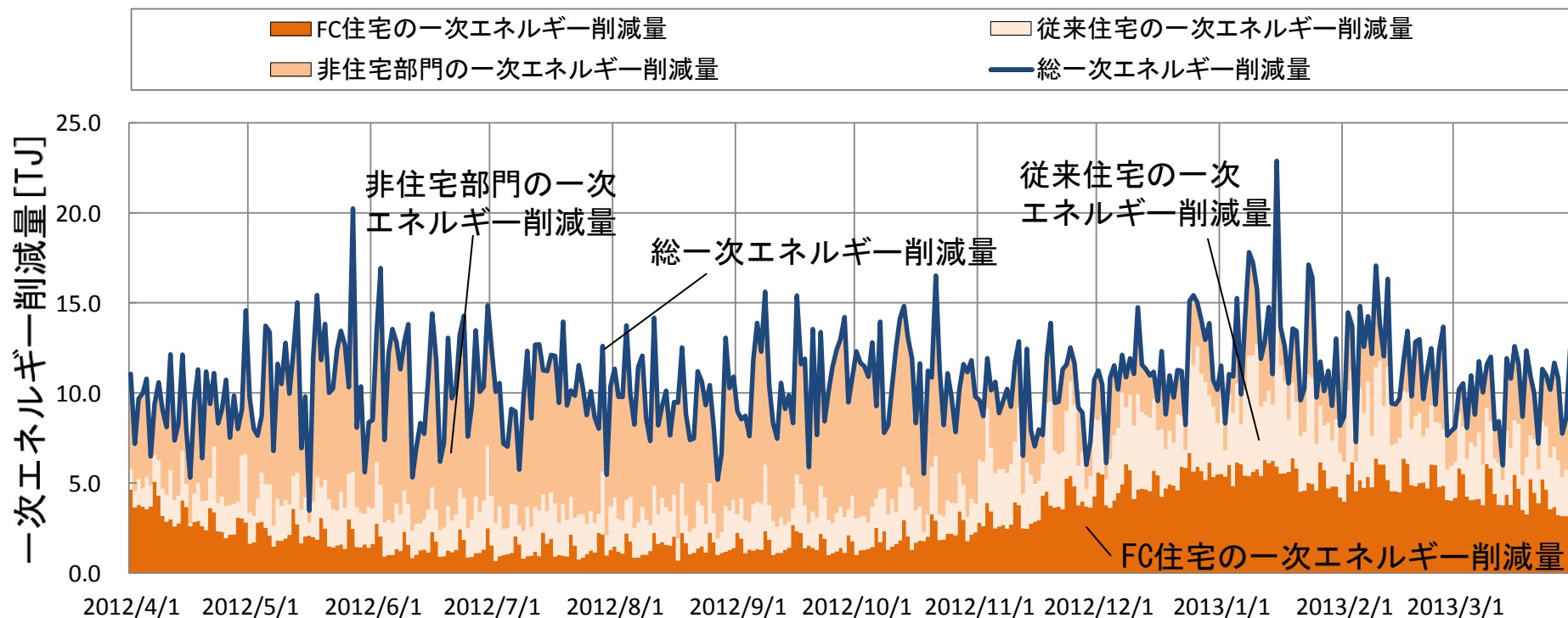


図4 日積算一次エネルギー削減量の年変化

(case1: 定格運転、戸建(3人、SOFC-I)、集合(2人、PEFC-I)、原発なし(2012年))

case1の場合、FC住宅全体の 年積算一次エネルギー削減量は1.1PJとなる。

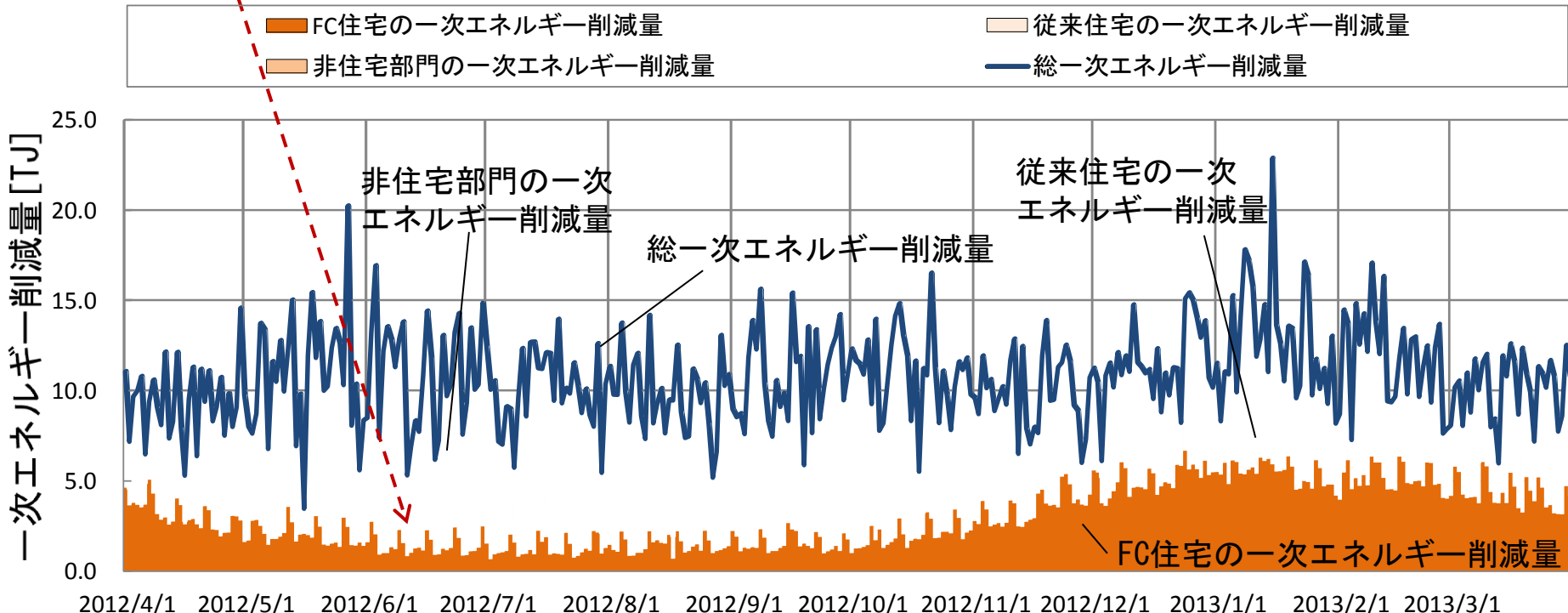


図4 日積算一次エネルギー削減量の年変化

(case1: 定格運転、戸建(3人、SOFC-I)、集合(2人、PEFC-I)、原発なし(2012年))

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。

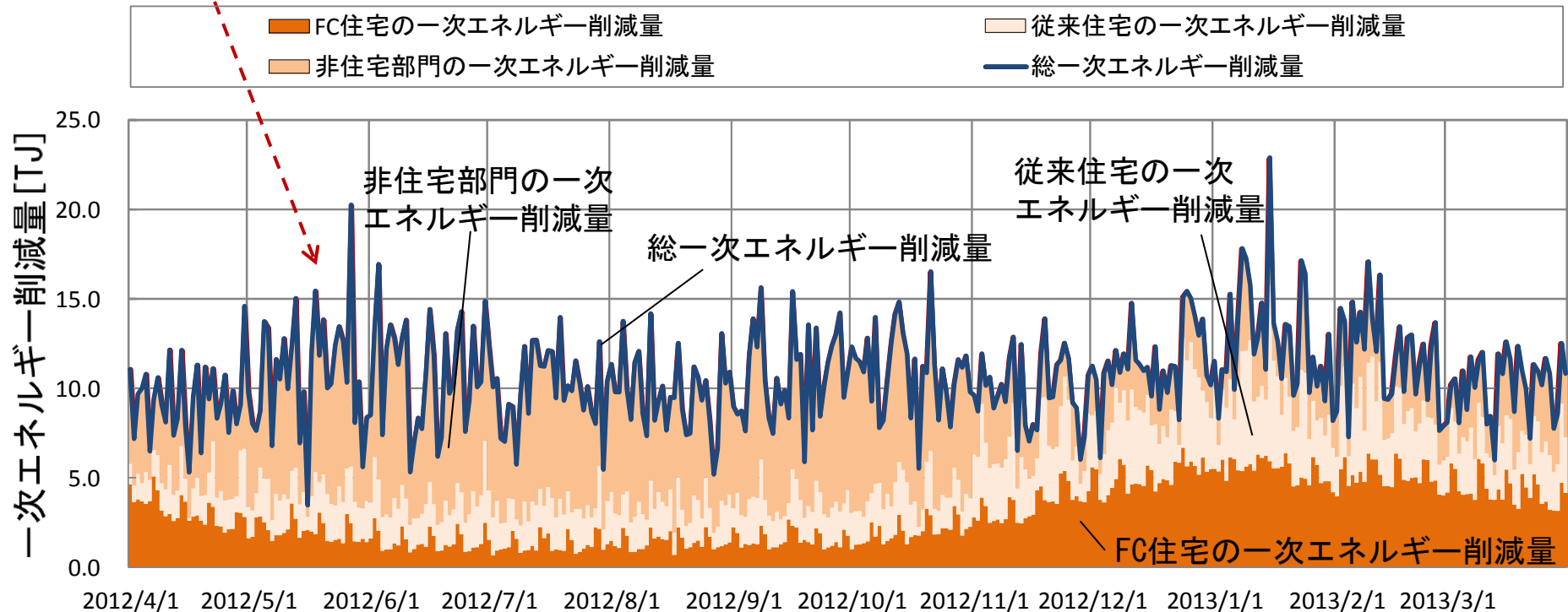


図4 日積算一次エネルギー削減量の年変化

(case1: 定格運転、戸建(3人、SOFC-I)、集合(2人、PEFC-I)、原発なし(2012年))

解析結果(各caseの比較)

一次エネルギー削減量[PJ]

削減率

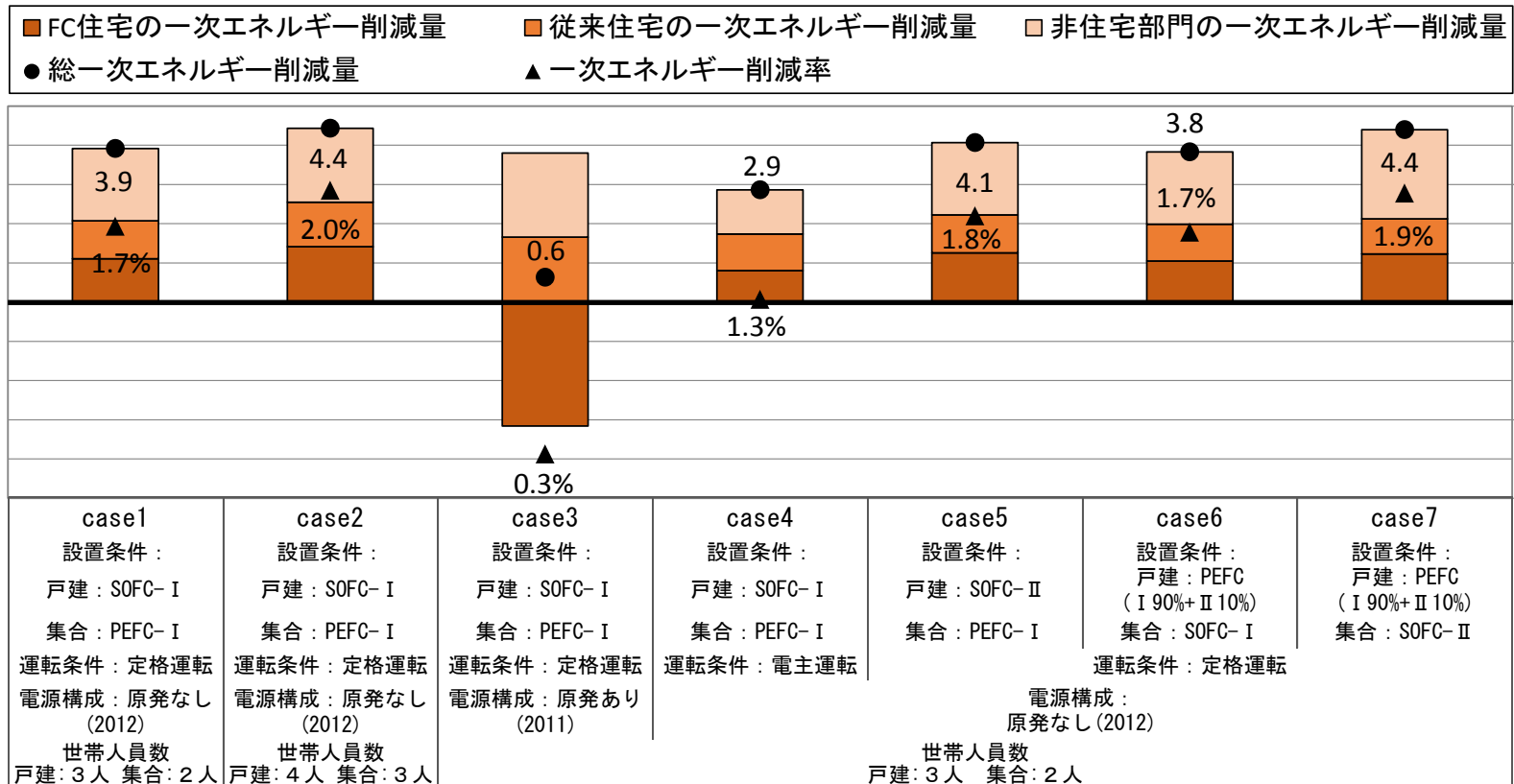


図5 年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5

※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6) 電気事業連合会：電力統計情報：燃料実績：http://www.fepec.or.jp

文7) 日本ガス協会：ガス事業便覧(平成25年版)

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。

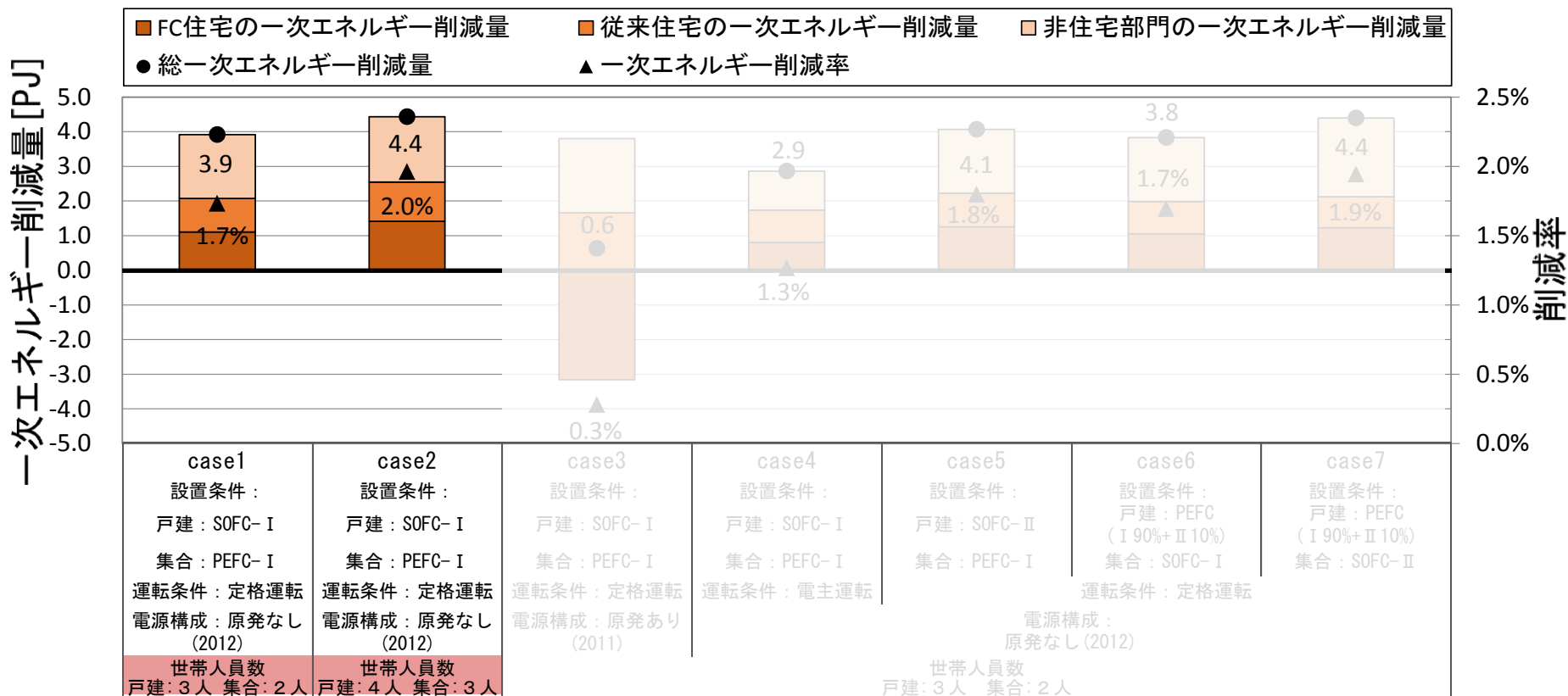


図5 年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5

※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6) 電気事業連合会: 電力統計情報: 燃料実績: <http://www.fepec.or.jp>

文7) 日本ガス協会: ガス事業便覧(平成25年版)

解析結果(各caseの比較)

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。

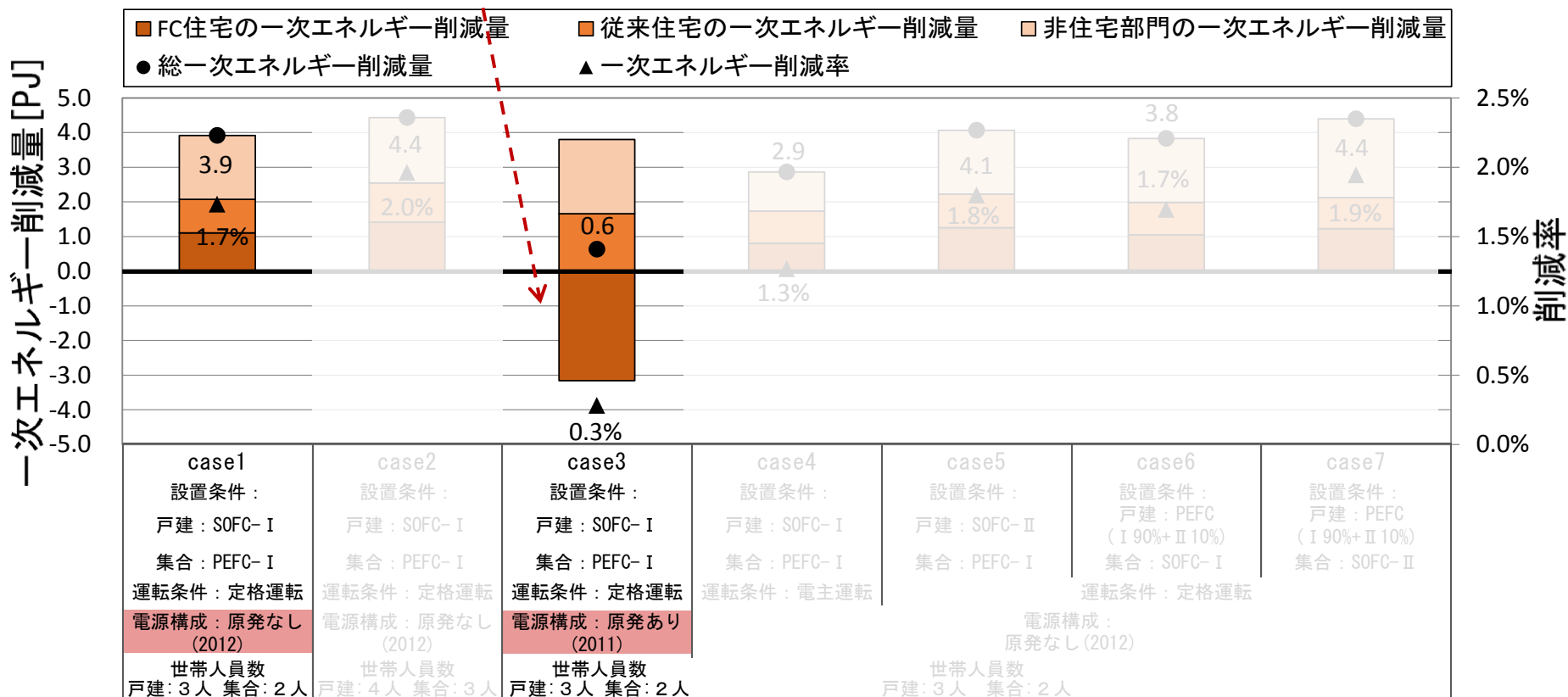


図5 年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5

※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6) 電気事業連合会：電力統計情報：燃料実績：http://www.fepec.or.jp

文7) 日本ガス協会：ガス事業便覧(平成25年版)

解析結果(各caseの比較)

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。

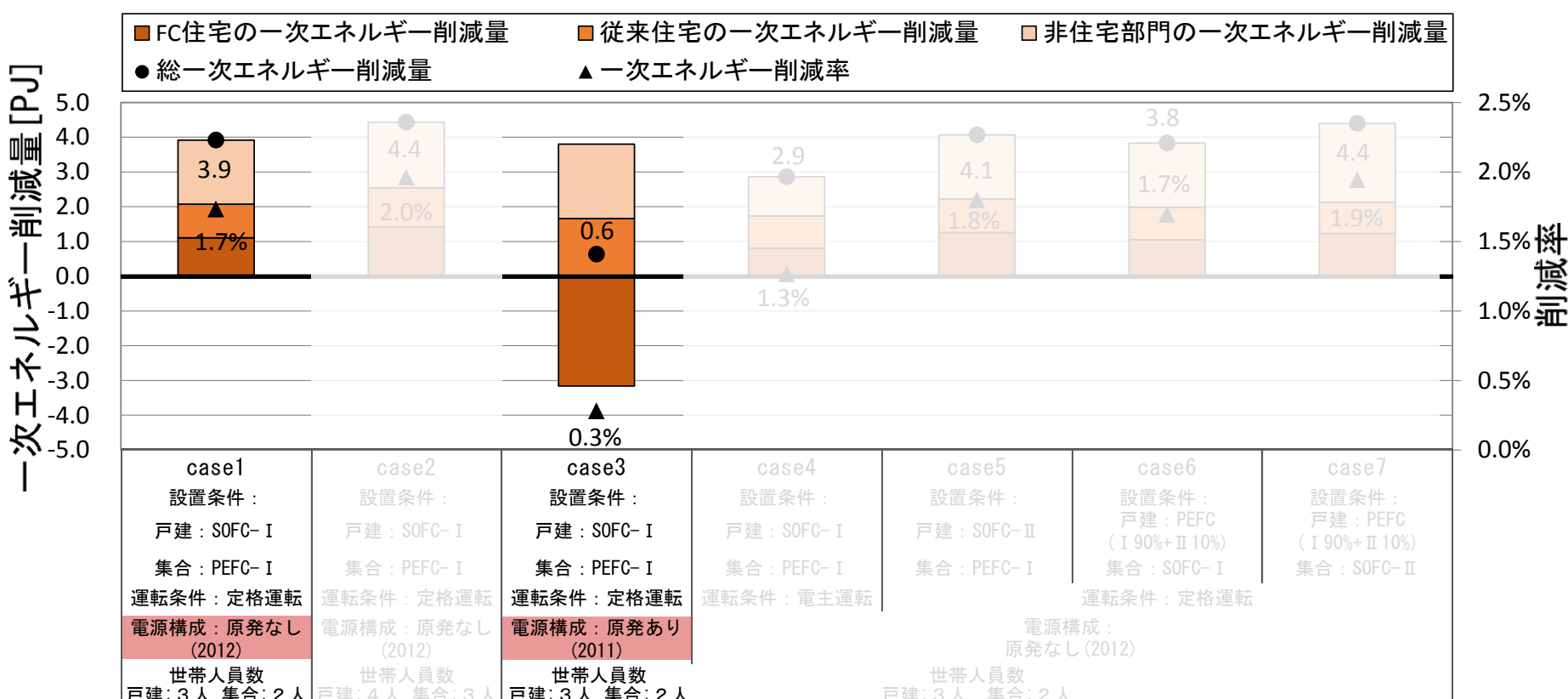


図5 年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5

※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6) 電気事業連合会：電力統計情報：燃料実績：http://www.fepec.or.jp
 文7) 日本ガス協会：ガス事業便覧(平成25年版)

設置条件の違い(case1, 5, 6, 7)で比較すると、**case7の設置した場合の一次エネルギー削減量が4つのcaseの中では約4.4PJと最も多い。**

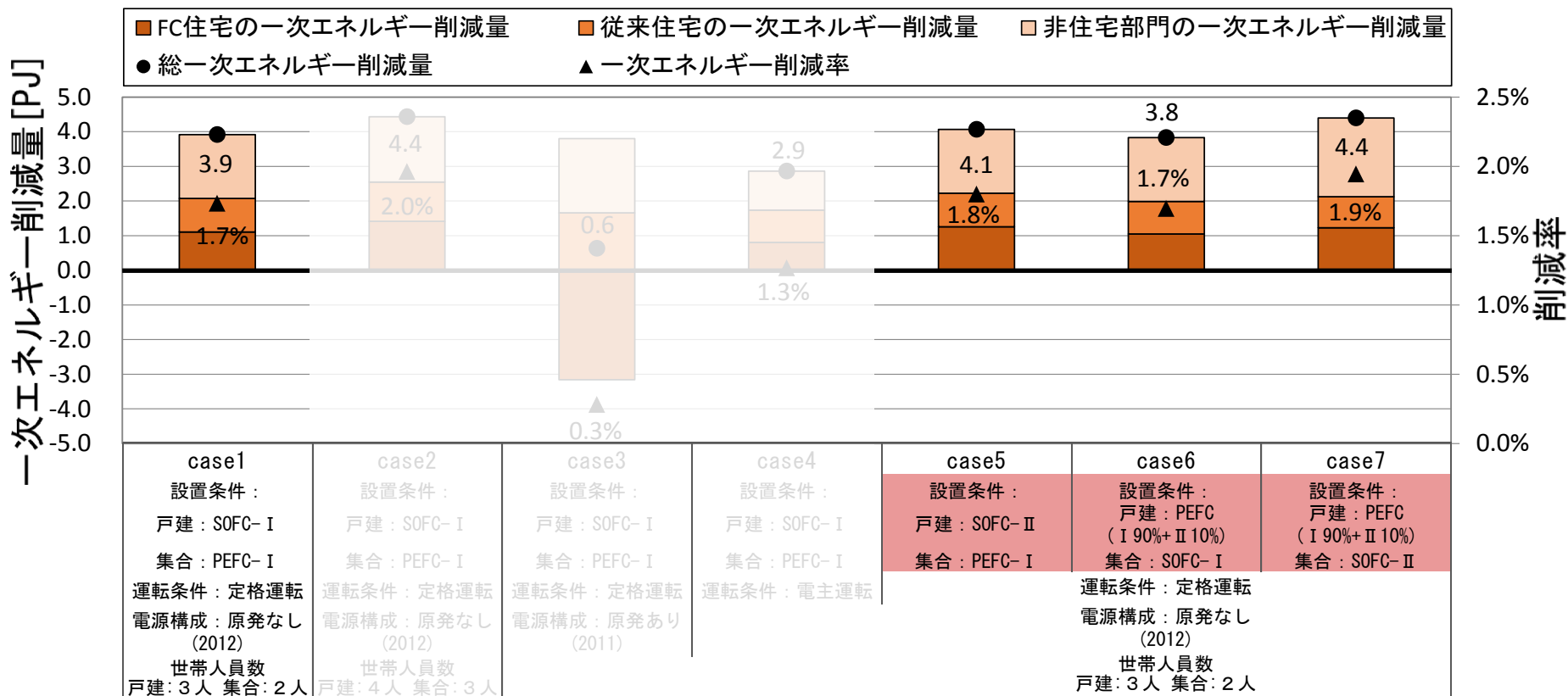


図5 年積算一次エネルギー削減量及び削減率※5

※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6) 電気事業連合会：電力統計情報：燃料実績：http://www.fepec.or.jp

文7) 日本ガス協会：ガス事業便覧(平成25年版)

- 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。