

平成 22 年度修士論文

家庭用エネルギー機器の  
費用最小化運転モデルによる  
CO<sub>2</sub>排出量削減ポテンシャルに関する研究

「平成 23 年 1 月」

東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
環境システム学専攻 環境経済システム学分野

学籍番号 096680      服部 公裕

指導教員                      吉田 好邦

## 目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究の背景.....	1
1.1.1 地球温暖化.....	1
1.1.2 日本の温暖化対策と現状.....	2
1.1.3 家庭部門における対策.....	3
1.2 研究の目的.....	4
1.2.1 既往研究とその課題.....	4
1.2.2 研究の目的.....	5
1.3 研究の概要.....	6
第2章 エネルギー需給モデルの構築.....	7
2.1 エネルギー需要負荷の設定.....	7
2.1.1 居住者の行動を考慮したエネルギー需要の設定.....	7
2.1.2 温熱快適性を考慮した冷暖房需要の設定.....	12
2.2 エネルギー需要モデルのまとめ.....	17
2.3 エネルギー供給方法の設定.....	19
2.4 HP 給湯器の COP の推定.....	25
2.4.1 説明変数の決定.....	25
2.4.2 重回帰分析.....	26
2.4.3 HPCOP の推定.....	26
2.4.4 実測値との比較.....	29
第3章 エネルギー需給シミュレーションの設定.....	30
3.1 シミュレーションの設定.....	30
3.1.1 経済性の評価.....	30
3.1.2 環境性の評価.....	31
3.2 最適化計算の概要.....	34
3.2.1 従来型給湯器、潜熱回収型給湯器の最適化計算.....	34
3.2.2 家庭用燃料電池の最適化計算.....	34
3.2.3 HP 給湯器の最適化計算.....	37
3.3 シミュレーションの条件設定の妥当性の評価について.....	40
3.3.1 電力需要.....	40
3.3.2 空調負荷.....	41
3.3.3 経済性.....	42
3.3.4 環境性.....	43

第4章 エネルギーシミュレーションの結果.....	45
4.1 シミュレーション結果.....	45
4.1.1 地域差比較.....	49
4.1.2 世帯構成による比較.....	51
4.1.3 住宅の断熱基準による比較.....	52
4.1.4 家庭用燃料電池の運転パターン.....	54
4.1.5 HP 給湯器の運転パターン.....	56
4.1.6 まとめ.....	57
4.2 暖房をエアコンと床暖房とする際の比較.....	58
4.2.1 暖房を床暖房とする際のシミュレーション結果.....	58
4.2.2 エアコンと床暖房の比較.....	61
4.3 自然エネルギーと組み合わせたシミュレーション評価.....	63
4.3.1 太陽光発電.....	63
4.3.2 太陽熱温水器.....	66
4.3.3 地域差比較.....	68
4.3.4 世帯構成比較.....	70
4.3.5 住宅の断熱基準の比較.....	72
4.4 まとめ.....	74
第5章 中長期的な視点によるシステム評価.....	75
5.1 中長期的な視点によるシステム評価の必要性.....	75
5.2 貯湯槽の放熱率の感度分析.....	77
5.2.1 家庭用燃料電池.....	77
5.2.2 HP 給湯器.....	78
5.2.3 家庭用燃料電池と HP 給湯器の比較.....	80
5.3 給湯器の効率の感度分析.....	81
5.3.1 家庭用燃料電池の発電効率.....	81
5.3.2 HP 給湯器の COP.....	85
5.4 CO <sub>2</sub> 排出原単位の感度分析.....	87
5.4.1 系統電力.....	87
5.4.2 ガス.....	90
5.5 ブレークイーブン.....	93
5.5.1 現状効率における各給湯器の CO <sub>2</sub> 排出量のブレークイーブン.....	93
5.5.2 系統の CO <sub>2</sub> 排出原単位と機器の性能のブレークイーブン.....	96
5.5.3 家庭用燃料電池と HP 給湯器の性能向上時におけるブレークイーブン.....	98
5.6 家庭用燃料電池の性能向上時による自然エネルギー導入効果.....	102
5.7 まとめ.....	105

第 6 章 結論.....	107
6.1 本研究で得られた成果と考察.....	107
6.2 今後の展望.....	108
付録.....	109
参考文献.....	111
謝辞.....	113

## 図表目次

図 1.1	部門別 CO <sub>2</sub> 排出量の推移 <sup>[3]</sup> .....	2
図 1.2	家庭におけるエネルギー消費量の内訳 <sup>[4]</sup> .....	3
図 1.3	研究の流れ .....	6
図 2.1	河野による行動パターン作成モデルの全体フロー図 .....	7
図 2.2	床断面図 .....	12
図 2.3	SMASH のプログラム構成 <sup>[10]</sup> .....	14
図 2.4	住宅用標準問題の間取り .....	16
図 2.5	エネルギー需要構造(暖房期) .....	17
図 2.6	エネルギー需要構造(中間期) .....	18
図 2.7	エネルギー需要構造(冷房期) .....	18
図 2.8	部分負荷運転による負荷率と発電効率の関係 .....	20
図 2.9	札幌の HPCOP .....	27
図 2.10	東京の HPCOP .....	28
図 2.11	鹿児島の HPCOP .....	28
図 3.1	コジェネレーション導入における回避電力の考え方 .....	33
図 3.2	世帯別の年間電力需要量 .....	41
図 3.3	家庭で使用する電力の用途別使用量 .....	41
図 3.4	計算結果と統計値の比較 .....	43
図 3.5	年間の世帯当たりの CO <sub>2</sub> 排出量内訳 .....	44
図 4.1	4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果 .....	46
図 4.2	4人世帯・新省エネ基準住宅の結果 .....	47
図 4.3	2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果 .....	47
図 4.4	2人世帯・新省エネ基準住宅の結果 .....	48
図 4.5	地域差比較(4人世帯、新省エネ基準住宅) .....	49
図 4.6	地域別 COP(年平均) .....	50
図 4.7	世帯構成比較(東京、新省エネ基準住宅) .....	51
図 4.8	住宅の断熱基準比較(東京、4人世帯) .....	53
図 4.9	電力需要量と給湯需要量の比(4人世帯) .....	53
図 4.10	家庭用燃料電池による発電量と系統電力からの買電量 .....	55
図 4.11	家庭用燃料電池の負荷率と貯湯率の推移 .....	55
図 4.12	4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果 .....	59
図 4.13	4人世帯・新省エネ基準住宅の結果 .....	59
図 4.14	2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果 .....	60

図 4.15	2人世帯・新省エネ基準住宅の結果	60
図 4.16	太陽光発電導入における結果(東京)	64
図 4.17	太陽光発電の余剰電力の売却益	65
図 4.18	電力需給構造(従来型給湯器)	65
図 4.19	電力需給構造(家庭用燃料電池)	65
図 4.20	太陽熱温水器導入における結果(東京)	67
図 4.21	家庭用燃料電池による発電量と HP 給湯器の使用電力量	67
図 4.22	自然エネルギー導入における結果(札幌)	68
図 4.23	自然エネルギー導入における結果(鹿児島)	69
図 4.24	太陽光発電量と太陽熱集熱量	69
図 4.25	自然エネルギー導入における世帯構成比較	71
図 4.26	電力需要に対する各電力量の比	71
図 4.27	自然エネルギー導入における住宅の断熱基準の比較	73
図 5.1	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の推移 <sup>[17]</sup>	76
図 5.2	貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(家庭用燃料電池)	77
図 5.3	貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(HP 給湯器)	79
図 5.4	貯湯槽の放熱率の変化による COP の変化	79
図 5.5	家庭用燃料電池の発電効率の感度分析 (ランニングコスト)	83
図 5.6	家庭用燃料電池の発電効率の感度分析 (CO <sub>2</sub> 排出量)	83
図 5.7	電力供給量の内訳 (東京)	84
図 5.8	家庭用燃料電池と補助熱源機のガスの利用割合 (東京)	84
図 5.9	HP 給湯器の COP の感度分析 (ランニングコスト)	85
図 5.10	HP 給湯器の COP の感度分析 (CO <sub>2</sub> 排出量)	86
図 5.11	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(札幌)	88
図 5.12	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(東京)	88
図 5.13	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(鹿児島)	89
図 5.14	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(札幌)	90
図 5.15	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(東京)	91
図 5.16	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(鹿児島)	91
図 5.17	ガスの排出電単位が 1%改善されることによる CO <sub>2</sub> 排出削減量	92
図 5.18	ガス給湯器と HP 給湯器のブレークイーブン(札幌)	94
図 5.19	ガス給湯器と HP 給湯器のブレークイーブン(東京)	94
図 5.20	ガス給湯器と HP 給湯器のブレークイーブン(鹿児島)	95
図 5.21	家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレークイーブン(地域別)	95
図 5.22	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位と家庭用燃料電池の発電効率のブレークイーブン	96

図 5.23	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の改善割合と家庭用燃料電池の発電効率のブレイクイーブン	96
図 5.24	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位と HP 給湯器の HPCOP のブレイクイーブン	97
図 5.25	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン (札幌)	99
図 5.26	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン (東京)	99
図 5.27	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン (鹿児島)	100
図 5.28	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の変化による家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブンの変化	101
図 5.29	家庭用燃料電池の発電効率の向上による CO <sub>2</sub> 排出量の変化	103
図 5.30	太陽光発電導入時における電力供給量の内訳	104
図 5.31	家庭用燃料電池による発電量	104
表 2.1	一般生活者と行為の分類	8
表 2.2	各行為の説明	8
表 2.3	行為に対する機器の消費電力量	9
表 2.4	行為に対応しない機器の消費電力量	9
表 2.5	消費湯量	10
表 2.6	照明の消費電力	10
表 2.7	世帯の構成	11
表 2.8	エアコンの推定 COP	12
表 2.9	床材の厚さと床下へ逃げる熱の割合	13
表 2.10	冷暖房日の設定	15
表 2.11	エネルギー需要タイプ	17
表 2.12	エネルギー供給方法の種類	19
表 2.13	太陽光発電量(札幌)[Wh]	21
表 2.14	太陽光発電量(東京)[Wh]	21
表 2.15	太陽光発電量(鹿児島)[Wh]	22
表 2.16	太陽熱温水集熱量(札幌)[Wh]	23
表 2.17	太陽熱温水集熱量(東京)[Wh]	23
表 2.18	太陽熱温水集熱量(鹿児島)[Wh]	24
表 2.19	変数の相関係数	25
表 2.20	地域別の外気温(°C)	27
表 2.21	各地域の HPCOP の平均値 (上段は 1 日平均、下段は深夜平均)	29

表 2.22	実測値と推定値の比較	29
表 3.1	初期コストの設定	30
表 3.2	電力料金の設定	30
表 3.3	ガス料金の設定	31
表 3.4	地域別の水道温度[°C]	33
表 3.5	世帯構成割合と 1000 世帯集合住宅における構成世帯数	40
表 3.6	電力需要に占める空調負荷の割合(東京、新省エネ基準住宅)	42
表 3.7	世帯人数別の電気代、ガス代の統計データ(総務省、家計調査)	42
表 3.8	電気代、ガス代の計算結果(東京、新省エネ基準住宅)	42
表 3.9	CO <sub>2</sub> 排出量の計算結果	43
表 4.1	4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果	46
表 4.2	4人世帯・新省エネ基準住宅の結果	47
表 4.3	2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果	47
表 4.4	2人世帯・新省エネ基準住宅の結果	48
表 4.5	地域差比較(4人世帯、新省エネ基準住宅)	50
表 4.6	エネルギー需要量比	50
表 4.7	世帯構成比較(東京、新省エネ基準住宅)	51
表 4.8	住宅の断熱基準比較(東京、4人世帯)	53
表 4.9	電力供給に占める家庭用燃料電池による発電量の割合	55
表 4.10	地域、時期別の COP	56
表 4.11	経済性、環境性の順位(札幌)	57
表 4.12	経済性、環境性の順位(東京)	57
表 4.13	経済性、環境性の順位(鹿児島)	57
表 4.14	4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果	59
表 4.15	4人世帯・新省エネ基準住宅の結果	59
表 4.16	2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果	60
表 4.17	2人世帯・新省エネ基準住宅の結果	60
表 4.18	エアコンと床暖房の比較(4人世帯、次世代省エネ基準住宅)	62
表 4.19	エアコンと床暖房の比較(4人世帯、新省エネ基準住宅)	62
表 4.20	エアコンと床暖房の比較(2人世帯、次世代省エネ基準住宅)	62
表 4.21	エアコンと床暖房の比較(2人世帯、新省エネ基準住宅)	62
表 4.22	太陽光発電導入における結果(東京)	64
表 4.23	太陽熱温水器導入における結果(東京)	67
表 4.24	自然エネルギー導入における結果(札幌)	68
表 4.25	自然エネルギー導入における結果(鹿児島)	69
表 4.26	自然エネルギー導入における世帯構成比較	71



表 4.27	自然エネルギー導入における住宅の断熱基準の比較.....	73
表 5.1	貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(家庭用燃料電池).....	78
表 5.2	貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(HP 給湯器).....	79
表 5.3	家庭用燃料電池の発電効率の感度分析 (ランニングコスト) [円/年] .....	83
表 5.4	家庭用燃料電池の発電効率の感度分析 (CO <sub>2</sub> 排出量) [kg-CO <sub>2</sub> /年].....	84
表 5.5	HPCOP の現状比に対する年間平均のシステム COP .....	85
表 5.6	HP 給湯器の COP の感度分析 (ランニングコスト) [円/年].....	86
表 5.7	HP 給湯器の COP の感度分析 (CO <sub>2</sub> 排出量) [kg-CO <sub>2</sub> /年].....	86
表 5.8	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(札幌) .....	88
表 5.9	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(東京) .....	89
表 5.10	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(鹿児島).....	89
表 5.11	系統電力の CO <sub>2</sub> 排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレークイー ブン .....	100
表 5.12	ガスの CO <sub>2</sub> 排出原単位の変化による家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレーク イーブンの変化.....	101
表 5.13	家庭用燃料電池の発電効率の向上による CO <sub>2</sub> 排出量の変化.....	104
表 5.14	まとめ.....	106

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

### 1.1.1 地球温暖化

地球温暖化問題は現在、人類が直面している最も重要かつ緊急な課題のうちの一つである。産業革命以後、人類は大量生産により財の生産コストを下げ、それにより消費者が大量に消費し、またそのため財を大量に生産するというような大量生産・大量消費の経済構造のもとでその経済力を増大させ、そして生活を豊かしてきた。しかし、大量生産・大量消費が経済発展や物質的な豊かさをもたらしたことと引き換えにオゾン層の破壊、酸性雨、砂漠化、大気汚染、水質汚染、森林破壊など多くの環境問題が世界各地で発生した。これらの環境問題の中でも地球温暖化は、それが原因と考えられる気候変動を含め、特に重要な問題である。地球温暖化は気候変動による干ばつや水害をもたらし、急激な気候変動に対応できない自然生態系の減少や海水面の上昇、熱射病の増加やマラリアなどの伝染病の流行といった人類の日常生活を脅かす問題まで引き起こすとされている。

2007年に公表されたIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）第4次報告書<sup>1)</sup>によると1995~2006年のうちの11年の世界の地上気温は、測器による記録が存在する1850年以降で最も温暖な12年の中に入り、1906~2005年の100年間の昇温傾向は100年当たり0.74℃である。このような20世紀半ばに観測された世界平均気温の上昇のほとんどは「人為起源の温室効果ガス(二酸化炭素やメタンなど)の増加によってもたらされた可能性がかなり高い」とされた。そして人間活動の影響として「20世紀後半の海面水位上昇」、「温帯低気圧の進路及び気温の分布」、「極端に暑い夜、寒い夜と寒い日の気温上昇」を引き起こした可能性が高いとされた。また、同報告書ではいくつかのシナリオを検討した結果、今後21世紀末（2090~99年）に20世紀末（1980~99年）と比較して1.8~4.0℃上昇すると報告している。

今後、中国やインドを始めとする新興国やその他の発展途上国の経済発展が進むにつれ、地球環境問題はますます深刻化していくのではないかと懸念されている。人類が現在のような豊かさを維持しつつも今後も発展を続けていくためには大量生産・大量消費の経済構造から脱却することが必要であり、地球温暖化を始めとした地球環境問題を軽視することはできないと言える。

### 1.1.2 日本の温暖化対策と現状

日本では2002年に京都議定書を締結し、2005年に同議定書を発効した。これを受けて2008年～2012年の5年間で1990年と比較して温室効果ガスを6%削減するという目標が定められた。こうした背景もあり、日本国内では年々、地球温暖化対策の重要性が高まっており、2009年9月の国連気候変動首脳会合では、我が国は、すべての主要国による公平かつ実効性ある国際的枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として1990年比で2020年までに温室効果ガスを25%削減することを表明した。また、2010年6月にエネルギー基本計画<sup>2)</sup>が閣議決定された。エネルギー基本計画は「安定供給の確保」、「環境への適合」、「市場原理の活用」というエネルギー政策の基本方針に則り、エネルギー政策の基本的な方向性を示すものであり、2030年に向けた目標として「①エネルギー自給率及び化石燃料の自主開発比率を倍増、自主エネルギー比率を現状の38%から70%程度まで向上」、「②ゼロ・エミッション電源比率を現状の34%から約70%に引き上げ」、「③「暮らし」(家庭部門)のCO<sub>2</sub>を半減」、「④産業部門での世界最高のエネルギー利用率の維持・強化」、「⑤我が国企業群のエネルギー製品等が国際市場でトップシェア獲得」が設定された。

しかし、現在、日本国内のCO<sub>2</sub>排出量は増加傾向にあり、地球温暖化問題は深刻さを増している。図1.1<sup>3)</sup>に示したように部門別に見ていくと産業部門や工業プロセス部門では基準年(1990年)と比較して削減されているものの、他の部門では増加傾向にある。中でも、業務その他部門(商業・サービス・事務所等)では43.0%増、家庭部門では34.2%増と大幅に増加しており、削減に向けた対策が必要であると言える。

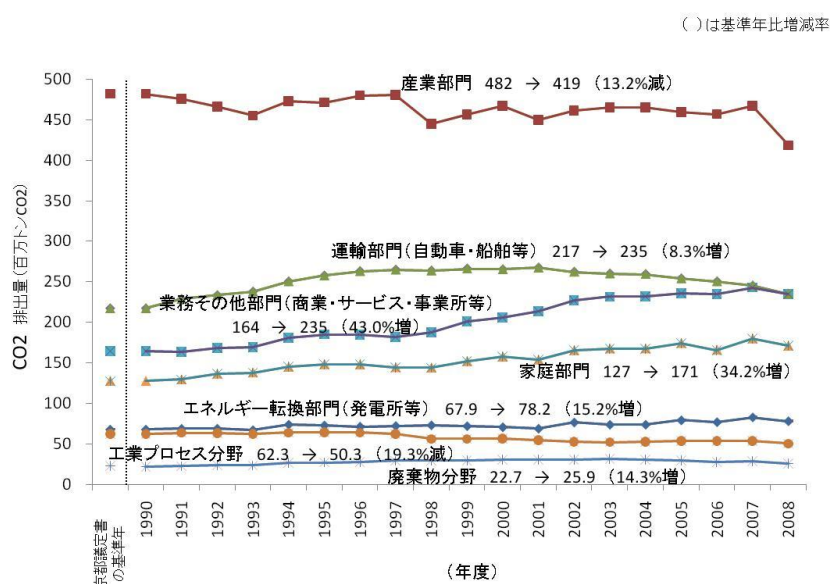


図 1.1 部門別 CO<sub>2</sub> 排出量の推移<sup>3)</sup>

### 1.1.3 家庭部門における対策

家庭部門においては世帯数の増加や家電保有数の増加の影響から 1990 年以降、エネルギー起源の CO<sub>2</sub> が 34% も増加しているのが現状である。温室効果ガスを 25% 削減するという目標の達成に向けて、国内 CO<sub>2</sub> 排出量の約 14% を占める家庭部門における温室効果ガスの削減は必要不可欠であり、2010 年 6 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、家庭部門においては家庭部門のエネルギー消費から発生する CO<sub>2</sub> 排出量を半減させるという内容が盛り込まれた。家庭部門での具体的な対策としては、「省エネ機器の研究開発を図ること」とともに、「世界最先端の省エネ機器に対する導入支援や省エネ法トップランナー規制等により、省エネ機器を普及させること」、「高効率家電・照明や高効率給湯器、太陽光発電の利用、住宅の省エネ基準の適合義務化」などが考えられている。

家庭部門におけるエネルギー消費量の内訳は図 1.2<sup>[4]</sup>のようになっている。給湯は家庭のエネルギー消費量の約 3 割を占めていることから、家庭における省エネを進めるためには給湯における省エネが極めて重要となり、高効率給湯器の普及が必要不可欠であると言える。そのために高効率給湯器を標準装備とすることを目指して、2020 年までに家庭用高効率給湯器を、単身世帯を除くほぼ全世帯相当、2030 年までに全世帯の 8~9 割に普及させることを目指すとされた。

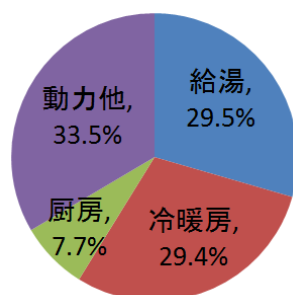


図 1.2 家庭におけるエネルギー消費量の内訳<sup>[4]</sup>

## 1.2 研究の目的

### 1.2.1 既往研究とその課題

家庭部門におけるエネルギー需給や CO<sub>2</sub> 排出量推定に関する研究はこれまでも多くなされてきた。そのような研究では、標準的な世帯構成や行動パターンを想定することが多い。

しかし、エネルギー消費行動に伴う実際の CO<sub>2</sub> 排出量は、世帯構成や行動パターンの違いによって大きく異なるため、標準的な世帯構成・行動パターンや、平均的なエネルギー消費原単位での現実的な値の把握は難しい。すなわち、エネルギー需給構造をモデル化することが難しい。この点について、過去に本研究室で考慮されており、その概要を述べる。

河野<sup>6)</sup>は、生活者の行動パターンは分散（ばらつき）を含めて再現し、より現実さに即した生活行動パターンモデルを作成した。そして、需要家の生活パターンに基づいたエネルギー消費行動をモデル化し、需要家を組み合わせた世帯タイプにおける時々刻々における需要値の変動を再現した。この研究で時々刻々の需要値の変化を考慮した、最適な住宅エネルギー供給パターンを評価し、系統電源とコジェネレーションシステムの最適併用パターンを設計し、総コスト・CO<sub>2</sub> 排出量が最小になる稼働条件を抽出している。

榎堀<sup>6)</sup>は暖房時の温熱快適性を考慮し、暖房をエアコンと床暖房の2種類の暖房負荷をモデル化し、河野が作成した生活パターンモデルと組み合わせてエネルギー需給モデルを作成し、エネルギー機器の導入効果を検討した。さらに、生活者のさまざまな省エネ行動についての実測調査を行い、現実さに即した省エネ行動の傾向を判断し、エネルギー機器との相性を評価することで家庭用エネルギー機器の効率的な普及策を分析した。

本研究室におけるこれらの研究においては、前述のエネルギー需給構造のモデル化はできているものの、現状のシステム評価、その評価に基づく普及策の提案という内容になっており、中長期的な技術革新による機器の効率向上や系統電力の環境負荷の低下などを考慮されていない。

また、池谷<sup>7)</sup>らは中長期的な視点から系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化に基づく、家庭用高効率給湯器のシステム評価を行ってはいるが、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位については考慮されていない。また、家庭用高効率給湯器の性能の向上についても考慮はされているものの、中長期的な技術革新を考慮した評価としては基礎的な段階に留まっている。

### 1.2.2 研究の目的

地球環境の改善に向けて温室効果ガスの削減を行うためには家庭部門における CO<sub>2</sub> 排出量をいかにして抑えるかが重要なポイントの一つと言える。中でも給湯において高効率給湯機の普及によりエネルギー利用量を削減していくことが大切である。しかし、家庭用エネルギー機器と言っても複数の種類があり、機器の性能について一長一短がある。さらに、家庭のエネルギー需要はライフスタイルや居住地など様々な要因にも影響を受けるので最適な家庭用エネルギー機器を一様に言及することは難しい。また、自然エネルギーとの同時導入についても促進されており、自然エネルギーとの相性についても良し悪しがあり、最適な家庭用エネルギー機器の言及をすることをさらに複雑なものにしている。そこで本研究では様々な需要家、自然エネルギーの組み合わせを考慮した家庭用エネルギー機器のシステム評価を行う。

次に、CO<sub>2</sub> 排出量の削減を考えるには現時点での一時的な削減効果に言及するだけではなく、中長期的な削減効果の評価が大事である。例えば、技術革新によって同種類の機器であっても性能の向上が考えられ、また、系統電力とガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の向上なども考えられることから現時点での CO<sub>2</sub> 排出量の削減量だけではなく、中長期的な状況の変化を考慮した上での CO<sub>2</sub> 排出量の削減量というのが大事になってくる。そこで本研究では中長期的な視点からも家庭用エネルギー機器のシステム評価を行うことで中長期的な時間軸を踏まえて効果的な CO<sub>2</sub> 排出量の削減方法について言及する。

さらに、現在、家庭のエネルギー需要を予測して運転を行う「学習効果機能」を有する家庭用エネルギー機器が普及していること、また中長期を想定した CO<sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャルを評価するために最適化運転モデルによってシステム評価を行う。

### 1.3 研究の概要

本研究では、まず本研究室で考慮されてきたように生活者の行動と空調負荷における温熱快適性を考慮してエネルギー需要モデルを作成する。

次に、作成したエネルギー需要モデルを用い、地域、世帯構成、住宅の断熱基準の違いを考慮することで、様々な需要家を対象として最適化運転モデルによってシステムの評価を行う。給湯器単体だけのシステム評価に加えて自然エネルギー導入時におけるシステム評価を行うことで自然エネルギーの導入効果についても評価する。

最後に、系統電力とガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の感度分析、家庭用エネルギー機器の効率の感度分析を行うことで中長期的な視点での CO<sub>2</sub> 排出量の効果的な削減方法を提案する。

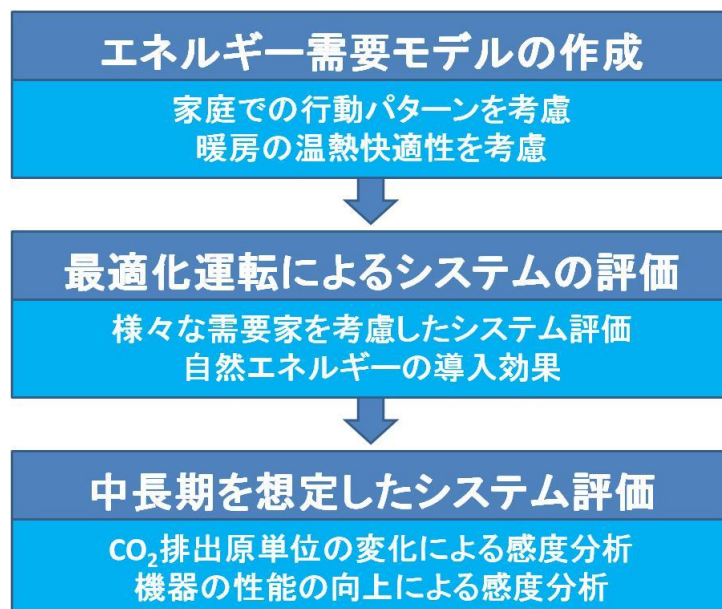


図 1.3 研究の流れ

## 第2章 エネルギー需給モデルの構築

### 2.1 エネルギー需要負荷の設定

#### 2.1.1 居住者の行動を考慮したエネルギー需要の設定

本研究では家庭におけるエネルギー需給のパターンを表現するために、時々刻々と変化するエネルギー需要モデルを作成し、さまざまな家庭タイプのエネルギー需要を再現する。

河野<sup>54</sup>は、15分毎の居住者の行動を考慮した家庭部門需要家のエネルギー需要モデルを作成しており、本研究ではこのモデルを参考にエネルギー需要モデルを作成した。以下にその概要を述べる。

##### 2.1.1.1 一般生活者の生活パターンの再現

統計調査<sup>58</sup>を用いて、一般生活者の行動パターンを15分毎に再現した。一般生活者と各々の生活行為は表2.1に、各行為の説明は表2.2に示す通りである。各行為の平均行為時間と行動時間の標準偏差をもとに、各生活者を500通りずつ作成した。

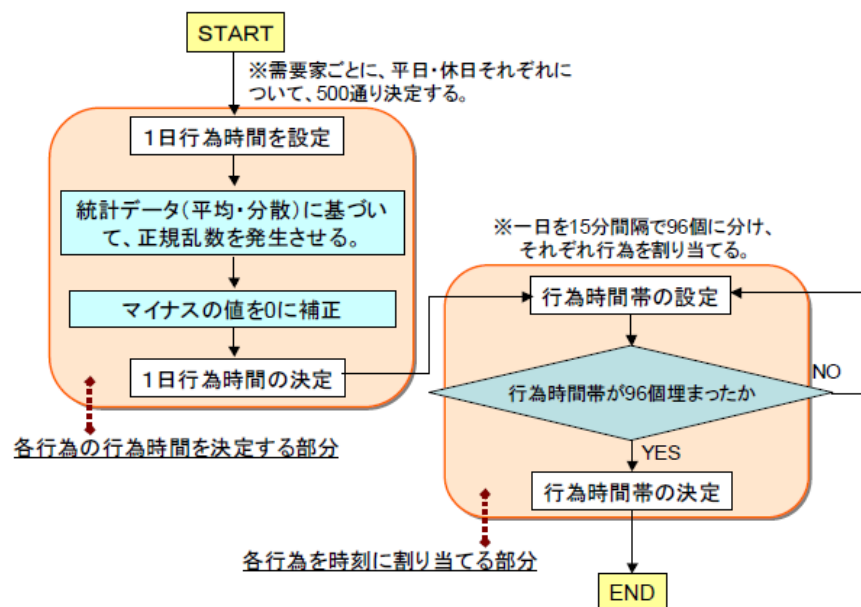


図 2.1 河野による行動パターン作成モデルの全体フロー図



表 2.1 一般生活者と行為の分類

行為者の分類		生活行為項目
男勤め人	平日	睡眠、食事、身の回り、仕事、テレビ、通勤、新聞、対話
	休日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、新聞、仕事、対話
家庭婦人	平日	睡眠、食事、身の回り、炊事、テレビ、洗濯、掃除、新聞、対話、趣味、本
	休日	睡眠、食事、身の回り、炊事、テレビ、洗濯、掃除、新聞、対話、趣味、行楽
中学生	平日	睡眠、食事、身の回り、学業、通学、テレビ、趣味、本
	休日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、学業、本、趣味、行楽
小学生	平日	睡眠、食事、身の回り、学業、通学、テレビ、趣味、スポーツ
	休日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、学業、趣味、スポーツ
男70歳以上	平日	睡眠、食事、身の回り、仕事、テレビ、新聞
	休日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、炊事、新聞、行事、行楽
女70歳以上	平日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、炊事、洗濯、掃除、新聞、趣味、仕事
	休日	睡眠、食事、身の回り、テレビ、炊事、洗濯、掃除、新聞、仕事

表 2.2 各行為の説明

行為	詳細
睡眠	睡眠、仮眠、昼寝
食事	朝食、昼食、夕食、夜食、給食
身の回り	洗顔、トイレ、入浴、着替え、化粧、散髪
仕事	何らかの収入を得る行動、準備・片付け・移動なども含む
学業	授業、朝礼、掃除、学校行事、部活動、クラブ活動、自宅や学習塾での学習、宿題
炊事・掃除・洗濯	食事の支度・後片付け、掃除、洗濯、アイロンがけ
通勤	自宅と職場の往復、自宅と仕事場(田畑など)の往復
通学	自宅と学校の往復
会話	家族・知人・友人・親戚とのつきあい・おしゃべり・電話・メール
スポーツ	体操、運動、各種スポーツ、ボール遊び
行楽	行楽地・繁華街へ行く、街をぶらぶら歩く、散歩、釣り
趣味	趣味・けいこごと、観賞、観戦、遊び、ゲーム、インターネット
テレビ	BS、CS、CATVの視聴も含む
新聞	朝刊・夕刊・業界紙・広報紙を読む
本	本を読む

### 2.1.1.2 エネルギー消費の設定

各々の行為とそれに対する消費エネルギーにより、時刻別のエネルギー消費を表現した。各行為のエネルギー消費と消費湯量の対応は以下の通りである（表2.3～表2.6）。行為時間に対応していないエネルギー消費に対しては、一日あたりの消費電力量または消費湯量から、統計データの行為者平均時間を除して単位時間あたりの消費電力量または消費湯量を算出した。

また、行為に対応しない給湯需要として「湯はり」を設定した。湯はりは、一回の湯使用量を200Lとし、一日の行為回数は一回とした。給湯温度は42℃とする。また、湯はり後の追い焚きを考慮した。湯はり後、1時間ごとに「世帯人数 - 1」回だけ浴槽のお湯を1℃上げるという設定をした。つまり、4人世帯では3回、2人世帯では1回追い焚きをすることとなる。

表 2.3 行為に対する機器の消費電力量

行為	機器	消費電力(W)	一日当たりの 機器使用時間(分/ 日)	一日当たりの 消費電力量(Wh/ 日)
身のまわり	ドライヤー	1200	6	120
学業	電気スタンド	20	60	20
炊事 洗濯 掃除	電子レンジ	1400	5	233.33
	炊飯器	炊飯: 1200 保温: 30	55 (炊飯: 15分、保温: 40分)	640
	掃除機	800	30	400
	洗濯機	400	40	266.67
	アイロン	1200	10	200
	換気扇	20	40	26.67
趣味	PC	50	30	25
テレビ	テレビ	200	行為時間に対応	
新聞	電気スタンド	20		
本	電気スタンド	20		

表 2.4 行為に対応しない機器の消費電力量

機器	消費電力 (W)	使用時間帯	単位時間当たりの 消費電力量(Wh/15分)
冷蔵庫	80	0時～24時	20
電気ジャーポット	20	7時～23時	5
温水洗浄便座	15	0時～24時	3.75
その他電力	40	0時～24時	10

表 2.5 消費湯量

行為	使用方法	一回の湯使用量 (L)	一日当たり 消費湯量(L/日)
身の回り(冬)	洗顔	13.9	27.8
	入浴	15.2	15.2
	シャワー	21.2	21.2
身の回り(春秋)	洗顔	0	0
	入浴	16.5	16.5
	シャワー	25.6	25.6
身の回り(夏)	洗顔	0	0
	入浴	18.6	18.6
	シャワー	36	36
炊事(冬のみ)		14.6	29.2

表 2.6 照明の消費電力

行為	使用部屋	照明電力(W)	一回当たり 使用時間(分)	一日当たり 消費電力量(Wh/日)
学業	個室	60	60	60
身の回り(冬)	洗面	60	10	20
	浴室	60	30	30
	トイレ	40	5	20
身の回り(春秋)	洗面	60	10	20
	浴室	60	25	25
	トイレ	40	5	16.67
身の回り(夏)	洗面	60	10	20
	浴室	60	20	20
	トイレ	40	5	13.33
食事	食堂	100	行為時間に対応	
炊事	厨房	60		
会話	居間	100		
趣味	個室	60		
テレビ	居間	100		
ラジオ	個室	60		
新聞	居間	100		
本	個室	60		

さらに生活者を組み合わせることで、表2.7に示した2つのタイプの世帯を作成した。これによって、冷暖房を除いたすべてのエネルギー需要のモデルを再現できた。

このモデルを用いて作成した500世帯のエネルギー需給モデルから20世帯ずつを抽出し、評価の対象とした。その際、次節で示すが、冷暖房負荷を朝型、夜型の2パターンのモデルを用意したのでエネルギー需要のモデルについても就寝時間によって朝型と夜型に10世帯ずつ分類する。

表 2.7 世帯の構成

世帯タイプ	行為者の構成
4人世帯	男勤め人、家庭婦人、中学生、小学生
2人世帯	男勤め人、家庭婦人

## 2.1.2 温熱快適性を考慮した冷暖房需要の設定

### 2.1.2.1 エアコンと床暖房の快適性

本研究では、暖房方法に関して温熱快適性の観点から、エアコンと床暖房について考慮する。エアコンと床暖房では快適と感じる室温が異なる。榎堀<sup>6)</sup>はこの違いに着目し、ほぼ同等の快適感を得られる暖房方法とそのときの室温として、次世代省エネ基準住宅ではエアコン20℃、床暖房18℃、新省エネ基準住宅ではエアコン24℃、床暖房22℃を採用した。なお、冷房はエアコンで一律に27℃とした。この冷暖房温度設定で、冷暖房需要は冷暖房熱負荷シミュレーションソフトSMASH for Windows ver.2 を用い、生活パターンに従って生じる冷暖房負荷をより正確に再現した。本研究ではこのモデルを参考にして冷暖房負荷を計算した。計算した冷暖房負荷は2.1.1で設定した需要家の生活パターン(朝型・夜型)に応じて組み合わせる。以下にその概要を述べる。

#### ①エアコンのCOP

エアコンはヒートポンプの仕組みを利用した冷暖房機器である。ヒートポンプの効率は、外気温依存性が大きいため、カタログ値をそのまま使用することはできない。本研究では佐藤<sup>9)</sup>を参考に、COP を推定した。推定したCOPを表2.8に示す。

表 2.8 エアコンの推定 COP

	暖房	冷房
札幌	2.3	5.2
東京	3.8	4.3
鹿児島	4.1	3.9

#### ②床暖房の熱損失

床暖房は温水パネル式床暖房とする。床暖房の場合、床下への熱損失を考慮しなければならない。床の構造は図 2.2 のようになっており、床下への熱損失は(2.1)式 のように部材の厚さと熱伝導率から計算できる。

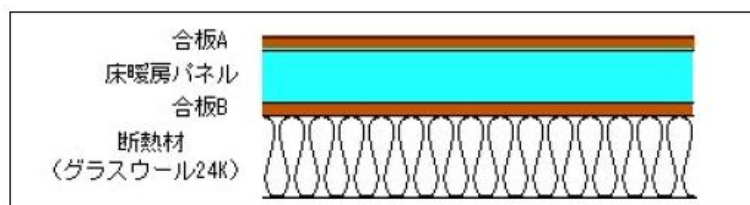


図 2.2 床断面図

$$R = \frac{T_1 - T_2}{1/23 + D_B / C_B / 1000 + D_h / C_h / 1000} \quad (2.1)$$

$R$ : 床下への熱損失

$T_1$ : パネル内温度

$T_2$ : 床下温度

$D_B$ : 合板 B 厚さ

$D_h$ : 断熱材厚さ

$C_B$ : 合板 B 熱伝導率

$C_h$ : 断熱材熱伝導率

なお、パネル内温度は温水温度 60℃、床下温度は 15℃とする。合板 A、B の熱伝導率は 0.186W/mK、断熱材の熱伝導率は 0.041W/mK である。床材の厚さは、各々の省エネ基準に合うように設定した厚さである。床下への熱損失と同様に床上（室内）へ伝わる熱量を計算した上で、温水パネルから発熱する量のうち床下へ逃げる熱の割合は表 2.9 のようになった。

ここで「新省エネ基準」とは全国的に断熱材の使用を促し、気密住宅や日射遮蔽などの概念を盛り込んだ、平成 4 年に制定された住宅の省エネルギーに関する基準であり、「次世代省エネ基準」とは新省エネ基準をより強化し、平成 11 年に制定された住宅の省エネルギーに関する基準のことである。

表 2.9 床材の厚さと床下へ逃げる熱の割合

		次世代省エネ基準	新省エネ基準
札幌	合板A厚さ(mm)	10	10
	合板B厚さ(mm)	12	12
	断熱材厚さ(mm)	160	120
	床下へ逃げる熱の割合	4%	6%
東京	合板A厚さ(mm)	10	10
	合板B厚さ(mm)	12	12
	断熱材厚さ(mm)	110	50
	床下へ逃げる熱の割合	6%	13%
鹿児島	合板A厚さ(mm)	10	10
	合板B厚さ(mm)	12	12
	断熱材厚さ(mm)	110	30
	床下へ逃げる熱の割合	6%	19%

### 2.1.2.2 熱負荷シミュレーションを用いた冷暖房負荷の作成

#### ①熱負荷シミュレーションの仕組み

本研究では、熱負荷シミュレーションソフトである SMASH for Windows ver.2（以下 SMASH）を使用した。SMASH とは、財団法人建築環境・省エネルギー機構が製作した、熱回路網により多数室の動的熱負荷計算を行うプログラムである。SMASH では、冷暖房温湿度、内部発熱、供給熱量等を設定した上で、期間暖冷房負荷、年間の最大暖冷房熱負荷計算の他、毎時暖冷房熱負荷計算、室の自然温度・湿度、室内側表面温度、平均放射温度などの計算を行うことができる。

以下に本研究における SMASH の設定において注意すべき点を述べる。

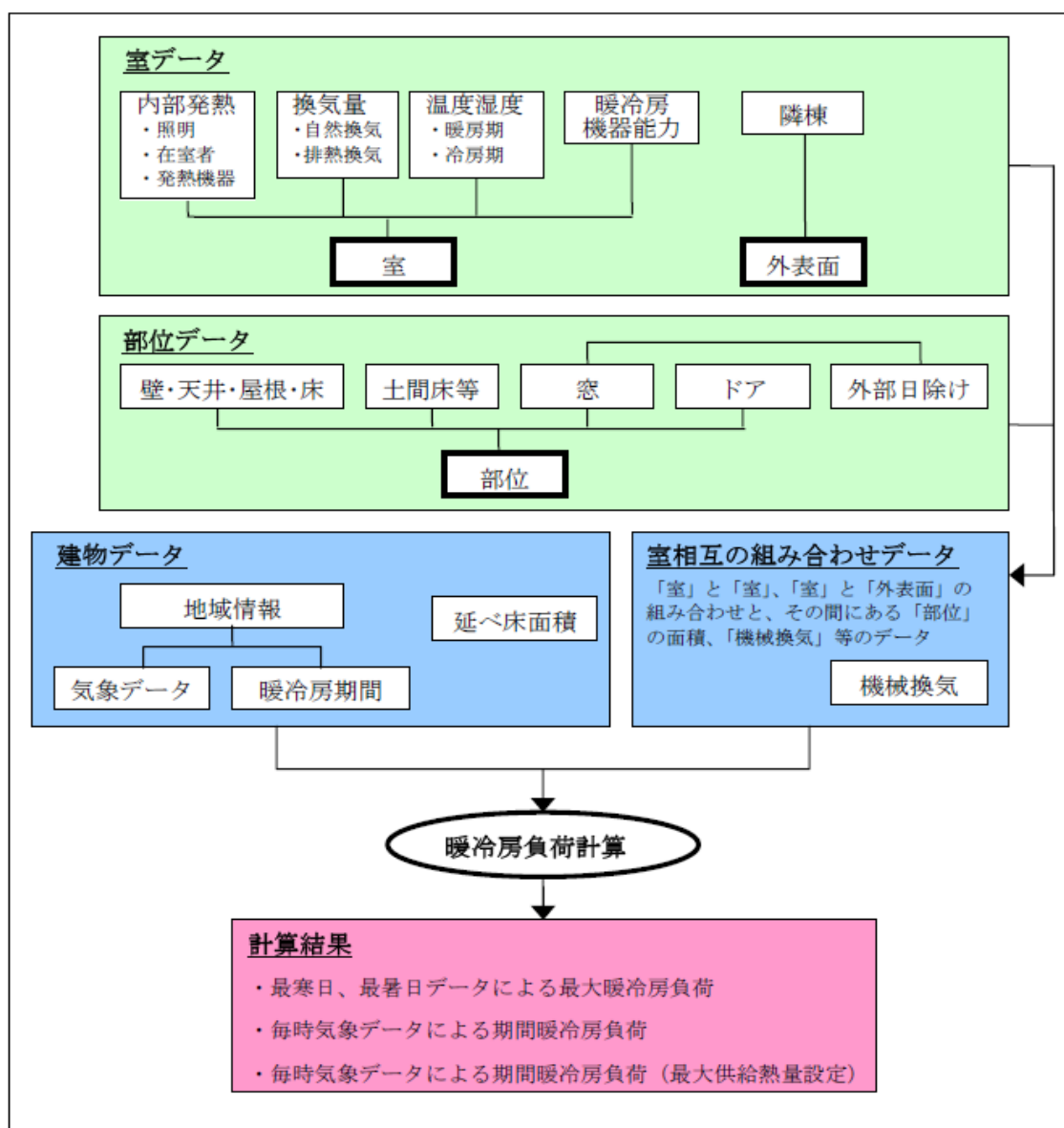


図 2.3 SMASH のプログラム構成<sup>[10]</sup>

## ②冷暖房日の設定

SMASH の初期設定では、1 年を、最高気温が 15℃以上となる日を暖房期間、それ以外を冷房期間としている。しかし本研究では暖房期間、冷房期間の前後一カ月を中間期（春秋）と設定し、冷暖房を用いない期間と設定した。

表 2.10 冷暖房日の設定

	暖房期	中間期	冷房期
札幌	10/25～5/9 (197日)	5/10～7/9 8/25～10/24 (122日)	7/10～8/24 (46日)
東京	12/2～3/22 (111日)	3/23～5/22 10/2～12/1 (109日)	5/23～10/1 (145日)
鹿児島	12/13～3/8 (86日)	3/9～5/8 10/13～12/12 (122日)	5/9～10/12 (157日)

## ③熱損失係数の設定

本研究では、断熱基準を、札幌・東京・鹿児島の 3 地域それぞれに次世代省エネ基準相当のものと新省エネ基準相当のものの 2 種類設定する。

この断熱基準は熱損失係数（Q 値）によって定められており、Q 値は家の断熱材や壁、天井などの部材データや換気量などによって式 2.2 [11]で決定される。

$$Q = KA / F = (\sum_i A_i K_i + L_i K_F + c_a r_a V n) / F \quad (2.2)$$

$Q$  [W/m<sup>2</sup>k]：熱損失係数

$KA$  [W/K]：総合熱貫流率

$A_i$  [m<sup>2</sup>]：外気との熱的な境界を構成する部位(外壁、窓、床など)の面積

$K_i$  [W/m<sup>2</sup>K]：各部位の熱貫流率

$L_i$  [m]：土間床の周長

$K_F$  [W/mK]：土間床の単位周長あたりの熱貫流率

$c_a r_a$  [kJ/m<sup>3</sup>K]：空気の容積比率 (=1.2)

$V$  [m<sup>3</sup>]：熱的な境界で囲まれた内部の気積

$n$  [回]：換気回数

SMASH 計算前に入力する部位データは、この Q 値に合うように部材の厚さや種類を設定した。



#### ④熱負荷シミュレーションによる計算

本来は、すべての世帯タイプについて生活スケジュールや居住地域、住居の構造に至るまで細かく再現するべきであるが、本研究では簡単のため、2.1.1 節で作成した世帯毎の需要モデルの中から冷暖房需要を算出する世帯をひとつ選択し、その世帯について **SMASH** を稼働させ冷暖房負荷を求めることとする。また、住宅は一律に日本建築学会住宅用標準問題<sup>[12]</sup>の間取りを採用した。

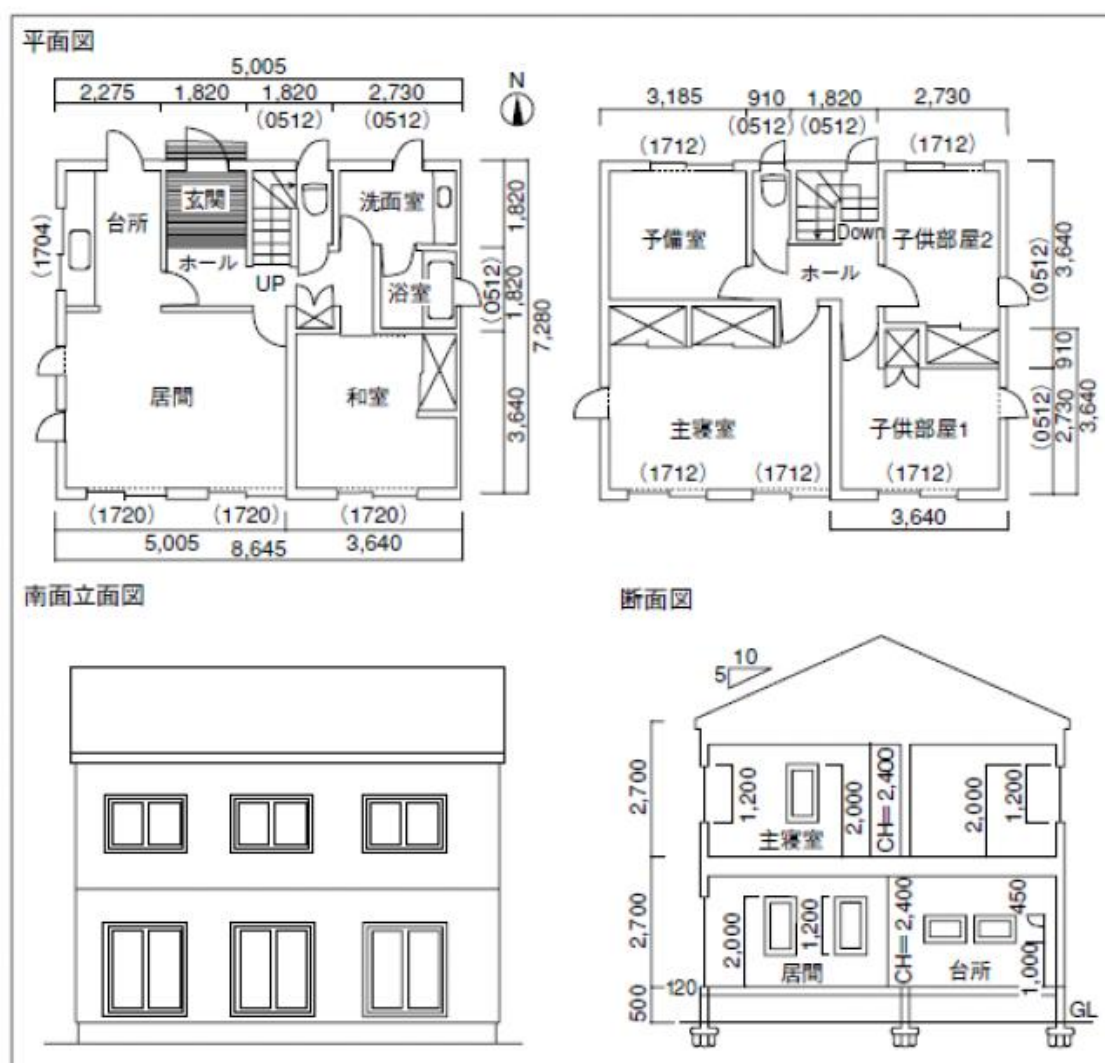


図 2.4 住宅用標準問題の間取り

## 2.2 エネルギー需要モデルのまとめ

ここまで考慮した点をまとめ、今後、評価を行う需要家のタイプについて表 2.11 にまとめた。

またエネルギー需要構造の一例として、世帯タイプを「4人世帯」、地域を「東京」、住宅を「新省エネ基準住宅」とする需要家を1つ抽出して、エネルギー需要構造を時期別に図 2.5～2.7 に示した。給湯需要に関してはいずれの時期についても18時の湯はり(200L)を除いている。

表 2.11 エネルギー需要タイプ

世帯タイプ	4人世帯(男勤め人、家庭婦人、中学生、小学生) 2人世帯(男勤め人、家庭婦人)
地域	札幌/東京/鹿児島
住宅断熱基準	次世代省エネ基準/新省エネ基準
暖房	エアコン: 次世代省エネ基準20℃ 新省エネ基準24℃ 床暖房: 次世代省エネ基準18℃ 新省エネ基準22℃
冷房	エアコン: 27℃
温水供給温度	42℃

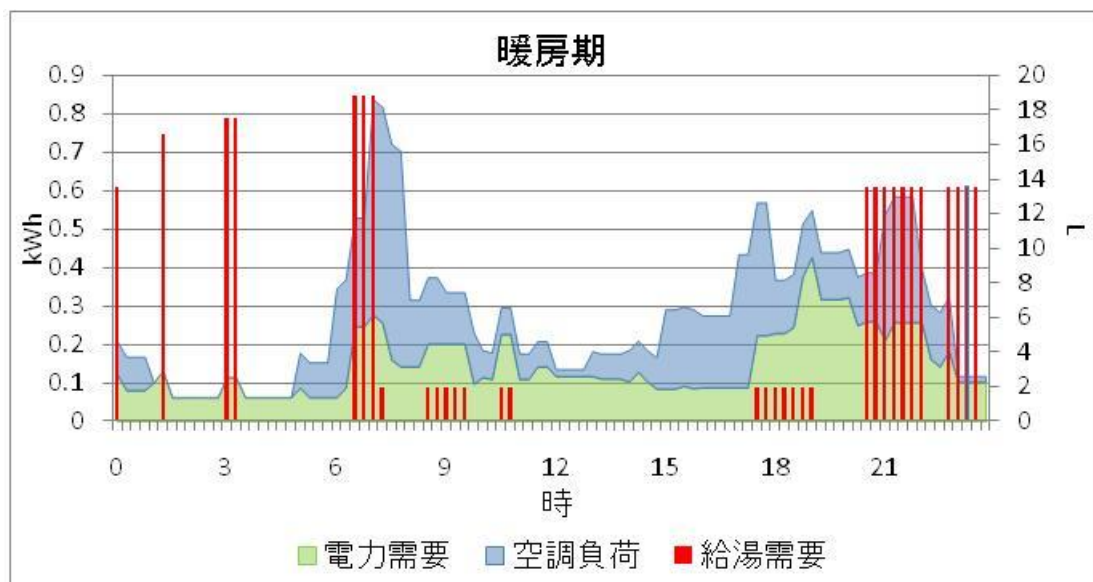


図 2.5 エネルギー需要構造(暖房期)

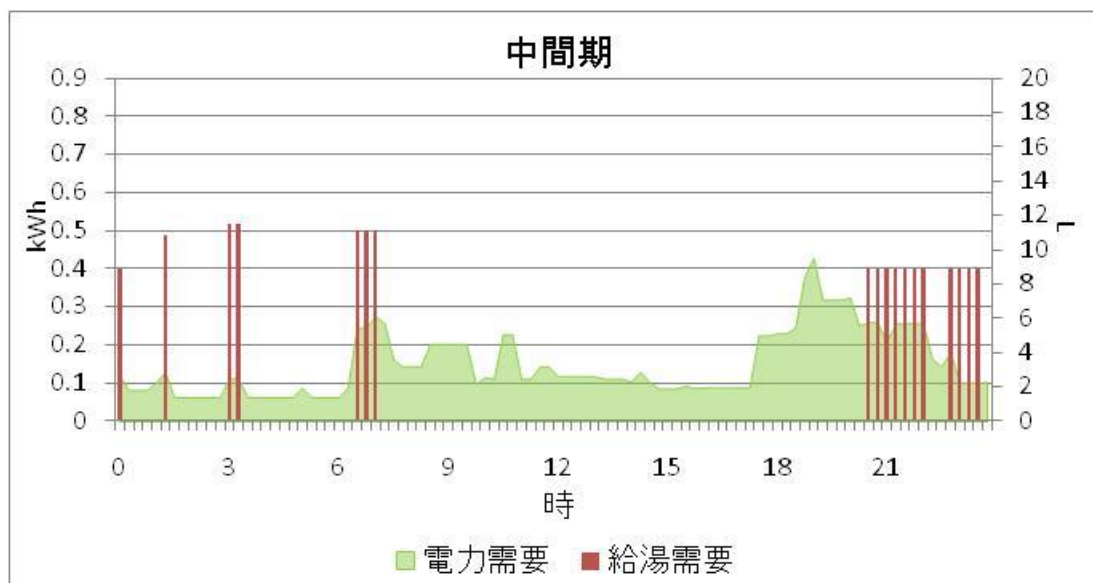


図 2.6 エネルギー需要構造(中間期)

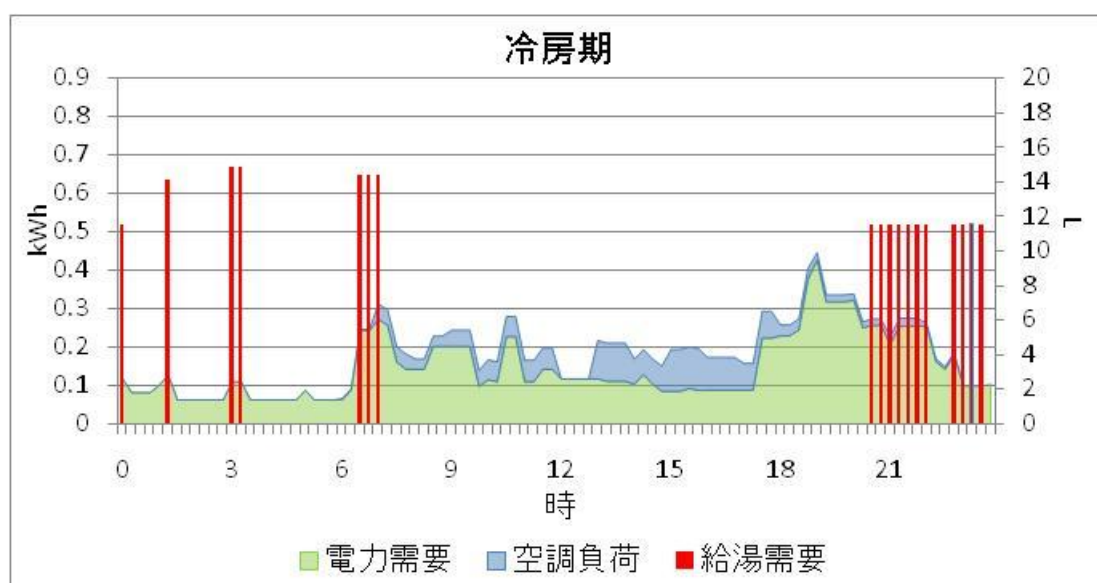


図 2.7 エネルギー需要構造(冷房期)

## 2.3 エネルギー供給方法の設定

本研究では給湯器として4種類、それに付帯する機器として自然エネルギー機器を2種類考慮する。

表 2.12 エネルギー供給方法の種類

種類		電力供給方法	給湯方法	性能
給湯器	従来型給湯器	系統電力	従来型給湯器	熱効率…80%
	潜熱回収型給湯器	系統電力	潜熱回収型給湯器	熱効率…95%
	家庭用燃料電池 (CGS)	系統電力 + 家庭用燃料電池	家庭用燃料電池 (CGS)	総合効率…80% ※HHV基準 部分負荷運転の考慮 貯湯槽の容量…200リットル
	HP給湯器	系統電力	HP給湯器	1日の気温変化に伴うCOPの変化を考慮 貯湯槽の容量…370リットル
付属機器	太陽電池	—	—	規模3kW、出力係数0.7
	太陽熱温水器	—	—	集熱面積3m <sup>2</sup> 、集熱効率0.5、 システム効率0.8、タンク容量200リットル

### ①従来型給湯器

電力需要は系統電力から、熱需要は都市ガスを利用した従来型のガス給湯器からの供給とする。従来型給湯器の熱効率は80%とした。

### ②潜熱回収型給湯器

電力需要は系統電力から、熱需要は都市ガスを利用した潜熱回収型給湯器からの供給とする。潜熱回収型給湯器の熱効率は95%とした。

### ③家庭用燃料電池(CGS)

CGSにはガスエンジンによるものと燃料電池によるものがあるが、本研究では中長期的な視点では燃料電池の方が優位に普及していくと考えられることから燃料電池を対象とする。家庭用燃料電池の規模は1kWとし、総合効率はHHV基準で80%とし、発電効率を33%、熱回収率を47%とした。さらに部分負荷運転を考慮し、負荷率0.3を下限としてこれ以下の負荷率では運転をしないこととした。負荷率0.3～1の間では発電効率33%、熱回収率47%である。この家庭用燃料電池により電力需要は系統電力と自家発電で供給し、熱需要は家庭用燃料電池から供給する。

家庭用燃料電池に付属する貯湯槽の放熱率は1時間当たり約3%とし、貯湯容量を200Lとした。

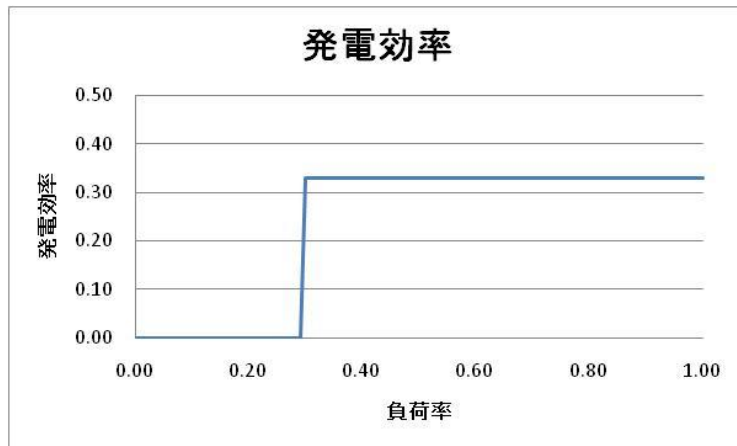


図 2.8 部分負荷運転による負荷率と発電効率の関係

#### ④HP 給湯器

電力需要は系統電力から、熱需要は HP 給湯器から供給する。従ってガス供給は想定しない。

HP 給湯器の効率は、外気温依存性が大きいため、カタログ値をそのまま使用することはできない。本研究では三村ら<sup>[13]</sup>の実機による実測値を参考にして HPCOP の重回帰式を求める。HPCOP の重回帰分析については 2.4 節に示す。

HP 給湯器に付属する貯湯槽の放熱率は 1 時間当たり約 3%とし、貯湯容量を 370L とした。

#### ⑤太陽光発電

本研究では世帯タイプによらず、規模 3kW、出力係数 0.7 の太陽光発電パネルを設置することとする。また太陽光発電の発電量は、札幌・東京・鹿児島地域別に太陽光発電システム用標準気象データ METPV の日射量データを用いて計算する。METPV とは NEDO の委託研究により日本気象協会が開発した全国 150 地点の気象データベースで、斜面日射量や水平面全天・直達・散乱日射量、気温、風速などの気象要素が 1 年間 1 時間積算値で整備されている。

$$E = R \times O \times C \times S \quad (2.3)$$

$E$ : 発電量[W]

$R$ : 斜面日射量[W/m<sup>2</sup>]

$O$ : 出力係数

$C$ : パネル容量[kW]

$S$ : 日射強度[kW/m<sup>2</sup>](1 とする)

(2.3)式により計算した時間別の発電量を地域別に表 2.13～2.15 に示す。

表 2.13 太陽光発電量(札幌)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	2	12	3	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	17	53	81	56	25	4	0	0	0
5時	0	0	51	144	203	249	209	141	155	39	0	0
6時	11	116	382	415	437	478	427	355	461	286	87	18
7時	324	503	771	775	652	736	713	616	763	617	327	284
8時	660	929	1139	1010	916	932	908	813	1048	777	562	553
9時	893	1149	1414	1151	1138	1090	995	1017	1272	995	773	721
10時	1026	1322	1493	1278	1212	1160	1003	1098	1381	985	834	769
11時	950	1291	1456	1343	1169	1263	984	1029	1260	833	787	708
12時	695	990	1150	1183	1029	1204	901	931	1121	718	664	627
13時	464	708	899	1055	870	907	690	772	887	571	533	395
14時	300	457	687	777	696	726	439	630	649	373	276	208
15時	68	225	368	418	468	457	237	367	356	152	36	12
16時	0	23	106	160	238	242	87	169	106	11	0	0
17時	0	0	3	28	70	88	16	46	6	0	0	0
18時	0	0	0	0	5	19	0	1	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.14 太陽光発電量(東京)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
5時	0	0	0	33	74	80	71	34	11	0	0	0
6時	0	11	79	196	256	232	265	177	137	98	32	0
7時	182	298	371	475	508	440	504	413	380	383	261	155
8時	641	668	705	794	744	680	690	582	663	684	590	599
9時	1009	1008	1025	1060	976	867	867	817	870	915	860	897
10時	1230	1342	1250	1301	1183	993	1095	982	928	1118	1002	1040
11時	1318	1488	1345	1402	1291	991	1110	1050	923	1106	1022	1161
12時	1347	1386	1254	1396	1242	948	1133	1156	896	858	993	1084
13時	1135	1184	1066	1249	1104	847	1041	1112	879	736	830	937
14時	824	796	907	982	847	645	889	905	660	555	524	625
15時	425	537	588	680	577	431	642	612	434	314	233	260
16時	75	187	244	323	312	271	395	349	182	72	14	1
17時	0	0	40	81	103	118	159	110	20	0	0	0
18時	0	0	0	0	10	25	28	6	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.15 太陽光発電量(鹿児島)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5時	0	0	1	17	57	55	55	35	14	1	0	0
6時	1	20	97	133	263	204	249	257	192	158	69	6
7時	188	278	405	334	574	402	523	657	547	490	397	291
8時	483	630	759	567	869	607	825	989	866	878	784	653
9時	838	964	1033	819	1115	746	1114	1250	1139	1175	1055	936
10時	1128	1224	1201	932	1341	906	1294	1474	1385	1391	1241	1118
11時	1182	1374	1313	1071	1350	939	1405	1633	1491	1483	1310	1190
12時	1088	1361	1271	1016	1368	929	1346	1579	1466	1414	1196	1184
13時	978	1298	1074	907	1233	836	1249	1388	1284	1214	1018	919
14時	776	1089	934	713	994	690	1044	1070	969	901	768	590
15時	480	721	654	487	700	478	733	771	636	547	405	336
16時	170	309	323	272	398	268	480	464	308	190	110	79
17時	1	26	77	78	134	121	201	157	60	6	0	0
18時	0	0	0	2	23	27	44	19	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ⑥太陽熱温水器

本研究では世帯タイプによらず、集熱面積 3 m<sup>2</sup>、集熱効率 0.5、システム効率 0.8 の太陽熱温水システムを設置することとする。太陽光発電と同様に、地域別の日射量データを用いて集熱量を計算する。

$$H = R \times E_s \times E_H \times S \quad (2.4)$$

$H$ : 集熱量[W]

$R$ : 斜面日射量[W/m<sup>2</sup>]

$E_s$ : システム効率

$E_H$ : 集熱効率

$S$ : 集熱面積[m<sup>2</sup>]

(2.4)式により計算した時間別の集熱量を地域別に表 2.16～2.18 に示す。

表 2.16 太陽熱温水集熱量(札幌)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	1	7	2	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	10	30	46	32	14	2	0	0	0
5時	0	0	29	82	116	142	119	81	89	22	0	0
6時	6	67	218	237	250	273	244	203	264	164	49	10
7時	185	287	440	443	373	420	408	352	436	352	187	162
8時	377	531	651	577	524	533	519	465	599	444	321	316
9時	510	657	808	657	650	623	569	581	727	569	442	412
10時	586	756	853	730	693	663	573	628	789	563	477	439
11時	543	738	832	767	668	722	562	588	720	476	449	405
12時	397	566	657	676	588	688	515	532	641	410	379	358
13時	265	405	514	603	497	518	458	441	507	326	304	225
14時	171	261	393	444	398	415	394	360	371	213	158	119
15時	39	129	210	239	267	261	251	210	203	87	21	7
16時	0	13	60	91	136	138	135	96	60	6	0	0
17時	0	0	2	16	40	50	50	26	3	0	0	0
18時	0	0	0	0	3	11	9	0	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 2.17 太陽熱温水集熱量(東京)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	3	16	14	12	6	0	0	0	0
5時	0	0	11	54	76	56	65	68	35	13	2	0
6時	30	84	112	192	182	131	167	215	162	142	137	34
7時	259	281	284	368	299	208	273	384	300	331	347	274
8時	531	510	431	512	436	277	348	530	466	463	567	537
9時	715	660	563	631	547	340	425	708	601	568	699	700
10時	850	756	645	694	628	358	510	857	600	588	787	800
11時	837	786	646	675	708	417	523	845	615	640	799	815
12時	728	760	580	602	666	414	547	785	592	617	687	737
13時	547	635	453	555	546	351	492	701	474	477	523	563
14時	362	455	322	393	420	295	367	493	351	337	292	323
15時	172	219	161	221	275	169	249	299	189	141	100	116
16時	5	41	50	79	132	89	125	123	54	13	0	0
17時	0	0	2	11	31	29	39	22	2	0	0	0
18時	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



表 2.18 太陽熱温水集熱量(鹿児島)[Wh]

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4時	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5時	0	0	1	10	33	31	31	20	8	0	0	0
6時	0	11	56	76	151	116	142	147	110	90	39	3
7時	107	159	231	191	328	230	299	375	313	280	227	166
8時	276	360	434	324	497	347	471	565	495	502	448	373
9時	479	551	590	468	637	427	636	715	651	671	603	535
10時	645	699	686	532	766	518	740	842	791	795	709	639
11時	675	785	751	612	772	537	803	933	852	847	748	680
12時	622	778	727	581	782	531	769	902	838	808	683	677
13時	559	742	614	518	705	478	713	793	734	694	582	525
14時	444	623	534	408	568	394	597	611	554	515	439	337
15時	274	412	374	278	400	273	419	441	364	312	232	192
16時	97	176	184	156	228	153	274	265	176	109	63	45
17時	1	15	44	45	77	69	115	90	34	4	0	0
18時	0	0	0	1	13	16	25	11	0	0	0	0
19時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 2.4 HP 給湯器の COP の推定

HP 給湯器の性能は外気温や使い方に大きな影響を受けるためにカタログ値などの値を一律に使うことは HP 給湯器の性能を評価するには不適切と言える。そこで本研究では三村ら<sup>[13]</sup>の実機による実測値を参考にして HPCOP の重回帰式を求める。

三村らは、8 地域(北海道、北陸、関東の 2 地域、中部、近畿、中国、九州)について月別に HP 給湯器の性能を評価している。測定結果として得られている主なデータは「給湯負荷、外気温、HP 出湯温、HP 入水温、システム COP、HPCOP」である。ここで「システム COP」とは貯湯槽の放熱ロスなどまで含めた給湯機全体としての COP を指し、「HPCOP」とはヒートポンプ部分だけの COP である。

今回、このデータを用いて HPCOP を被説明変数とした重回帰式を求め、システム評価の際に用いることとする。

### 2.4.1 説明変数の決定

説明変数の候補としては元データに含まれる「給湯負荷、外気温、HP 出湯温」に加えて、元データから求められる「HP 入出水温差」、各地の「水道温度」、「HP 出湯、水道温度差」を挙げる。それぞれの変数同士の相関係数を求めたものを表 2.19 に示す。

まず、HPCOP との相関係数が高いことから外気温を被説明変数の一つとする。HP 給湯機が外気温の影響を受けやすいという一般論とも一致する。もう一つの変数は「HP 出湯温」、「HP 入出水温差」、「水道温度」、「HP 出湯、水道温度差」については「外気温」との相関が高く、「外気温」同様に気候に影響を受ける要素であると考えられるので被説明変数の候補から除いた。次に、「HP 出湯温」については「外気温」との相関が低く、気候による影響を受けにくい要素でもある。また、HP 給湯器は使用方法によって HPCOP が変化するとされているが、「HP 出湯温」の設定も使用方法の一つの要素と考えられる。以上の理由から「HP 出湯温」についても説明変数とする。

表 2.19 変数の相関係数

	HPCOP	全体給湯負荷	外気温	HP出湯温	入出水温差	水温	出湯、水道温差
HPCOP	1.00	-0.55	0.80	-0.59	-0.62	0.74	-0.77
全体給湯負荷	-0.55	1.00	-0.71	0.51	0.77	-0.70	0.69
外気温	0.80	-0.71	1.00	-0.42	-0.70	0.91	-0.76
HP出湯温	-0.59	0.51	-0.42	1.00	0.84	-0.50	0.87
入出水温差	-0.62	0.77	-0.70	0.84	1.00	-0.75	0.92
水温	0.74	-0.70	0.91	-0.50	-0.75	1.00	-0.86
出湯、水道温差	-0.77	0.69	-0.76	0.87	0.92	-0.86	1.00

## 2.4.2 重回帰分析

被説明変数を「HPCOP」、説明変数を「外気温」と「HP 出湯温」にして重回帰分析を行う。元データの標本数は 96 である(8 地域×12 カ月)。このデータから求めた重回帰式を(2.4)式に示す。

$$HPCOP = 0.045T_1 - 0.025T_2 + 4.14 \quad (2.4)$$

(10.85)      (-5.13)      (10.19)

*HPCOP*: HPCOP

$T_1$ : 外気温

$T_2$ : HP 出湯温

※()内の値は t 値

重決定係数は 0.71 である。

## 2.4.3 HPCOP の推定

前節で求めた重回帰式を用いて HPCOP の推定を行う。今回、重回帰式に代入する外気温については気象庁<sup>[14]</sup>の 2009 年の 1 時間ごとの気象情報を基にして期別に時間帯別の平均気温を求めた値を用いる。これによって時間帯別の外気温を(2.4)式に代入することで HPCOP は 1 日の気温変化による影響を反映した値となる。また沸き上げ温度については、三村ら<sup>[13]</sup>の文献を参考にして、実使用データと近くなるように暖房期は 85℃、中間期は 80℃、冷房期は 75℃に設定した。この結果、HPCOP は以下の図表のように推定された。

表 2.20 地域別の外気温(℃)

	札幌			東京			鹿児島		
	暖房期	中間期	冷房期	暖房期	中間期	冷房期	暖房期	中間期	冷房期
1時	1.0	14.4	19.5	7.3	14.8	23.0	8.8	14.3	24.2
2時	0.8	14.0	19.3	7.0	14.6	22.7	8.7	14.0	23.9
3時	0.7	13.8	19.2	6.7	14.2	22.6	8.4	13.8	23.7
4時	0.6	13.7	19.0	6.5	13.9	22.4	8.2	13.6	23.6
5時	0.3	13.7	18.9	6.3	13.8	22.3	8.0	13.5	23.4
6時	0.5	14.0	19.1	6.3	13.8	22.4	7.9	13.4	23.3
7時	0.9	15.0	19.6	6.2	14.2	22.8	7.9	13.6	23.9
8時	1.8	16.3	20.2	6.6	15.0	23.4	8.1	14.8	24.9
9時	2.8	17.5	21.3	7.3	16.0	24.2	9.0	16.3	26.0
10時	3.5	18.4	22.0	8.1	17.0	24.9	10.5	17.5	26.9
11時	4.2	18.9	22.7	9.1	17.8	25.6	11.6	18.5	27.7
12時	4.6	19.1	23.0	9.9	18.4	26.1	12.4	19.1	28.2
13時	4.7	19.3	23.2	10.4	18.8	26.5	12.9	19.6	28.6
14時	4.6	19.1	23.3	10.8	18.8	26.6	13.4	19.9	28.8
15時	4.4	18.8	22.8	10.8	18.7	26.5	13.3	19.8	28.7
16時	4.0	18.2	22.4	10.6	18.5	26.2	13.0	19.3	28.4
17時	3.4	17.6	22.0	10.1	18.0	25.9	12.4	18.6	27.9
18時	2.9	16.9	21.5	9.6	17.4	25.4	11.7	17.8	27.2
19時	2.5	16.2	20.9	9.2	16.9	24.7	11.1	17.1	26.4
20時	2.1	15.8	20.6	8.9	16.4	24.3	10.6	16.5	25.8
21時	2.0	15.4	20.3	8.4	16.0	24.0	10.0	16.0	25.4
22時	1.7	15.1	20.0	8.1	15.7	23.6	9.7	15.5	25.1
23時	1.4	14.8	19.8	7.9	15.3	23.4	9.3	15.1	24.8
24時	1.2	14.6	19.6	7.6	15.1	23.2	9.1	14.7	24.5
平均	2.4	16.3	20.9	8.3	16.2	24.3	10.3	16.3	25.9

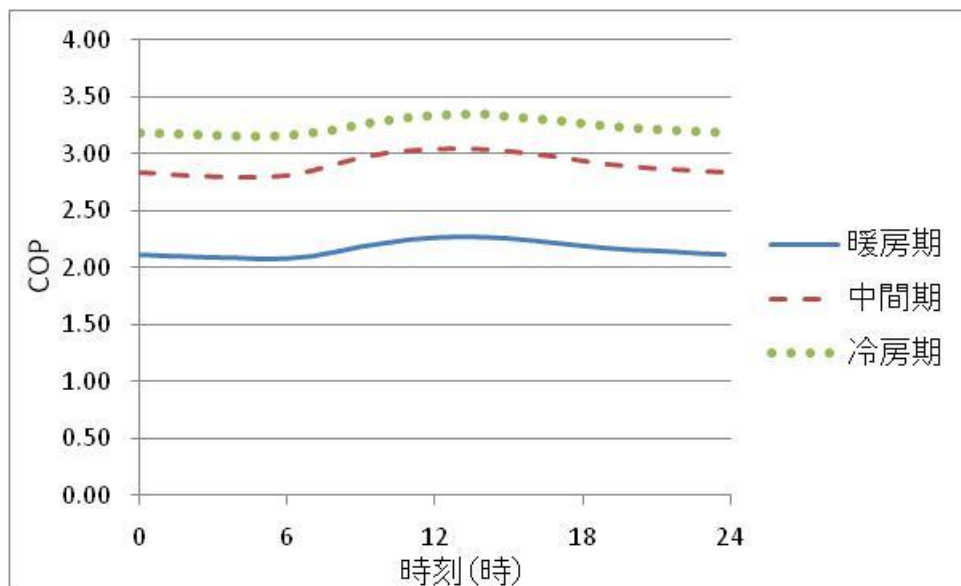


図 2.9 札幌の HPCOP

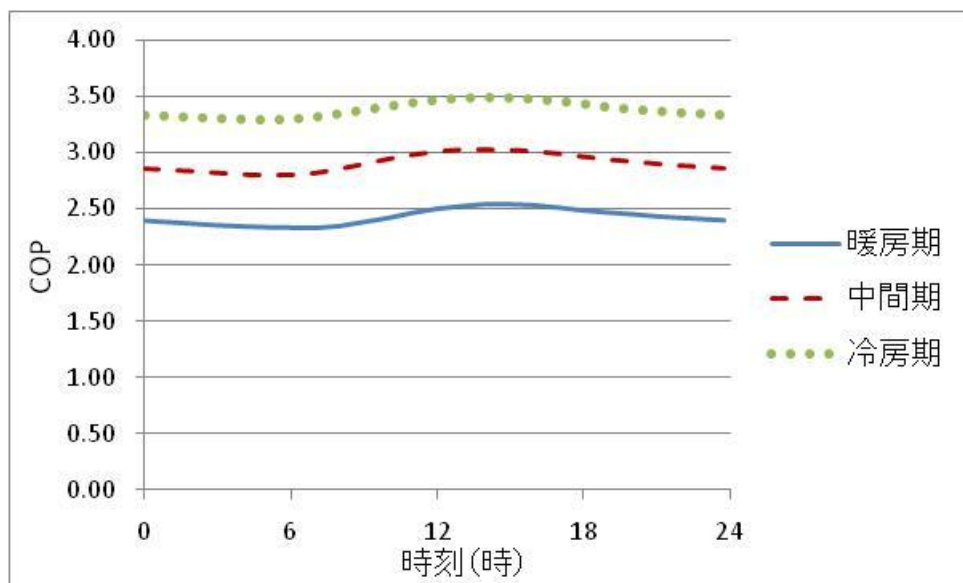


図 2.10 東京の HPCOP

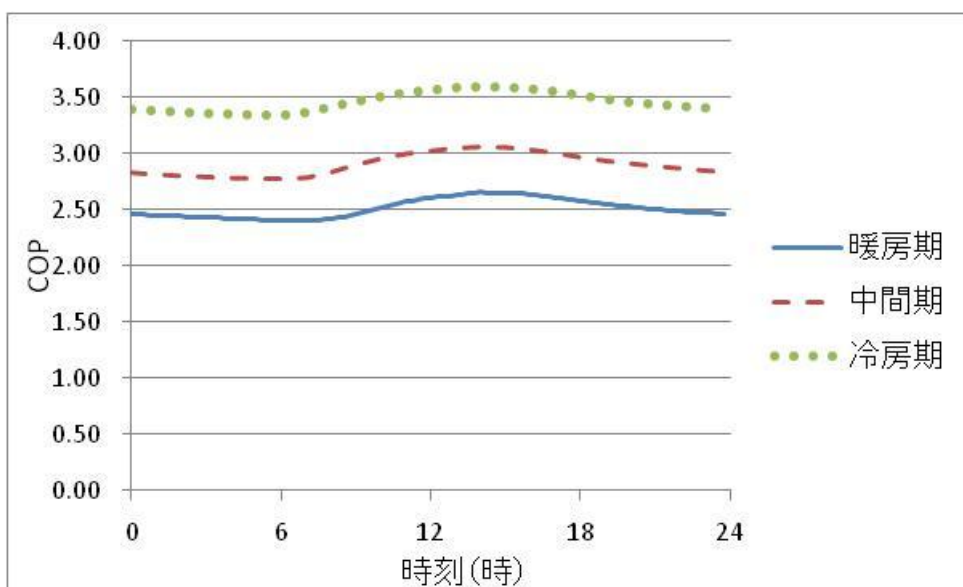


図 2.11 鹿児島県の HPCOP

表 2.21 各地域の HPCOP の平均値（上段は 1 日平均、下段は深夜平均）

	暖房期	中間期	冷房期
札幌	2.16 (2.09)	2.91 (2.81)	3.23 (3.16)
東京	2.43 (2.36)	2.90 (2.82)	3.39 (3.32)
鹿児島	2.51 (2.44)	2.91 (2.80)	3.46 (3.37)

#### 2.4.4 実測値との比較

実測値と推定値の HPCOP の最小値から最大値の区間を表 2.22 に示す。推定値は概ね実測値の範囲に収まっており、今回設定した HPCOP の重回帰式によってより現実的な性能を評価出来ていると考えられる。

表 2.22 実測値と推定値の比較

	HPCOPの幅	
	実測値	推定値
暖房期	2.29～2.66	2.16～2.51
中間期	2.86～2.92	2.90～2.91
冷房期	3.14～3.68	3.23～3.46

## 第3章 エネルギー需給シミュレーションの設定

### 3.1 シミュレーションの設定

#### 3.1.1 経済性の評価

##### ①エネルギー機器の初期コスト

各エネルギー機器の初期コストは表 3.1 のように設定し、補助金を考慮した(工事費、人件費等は含まれない)。以下、経済性の評価では、年間の電気・ガス料金の合計に、「初期コストと補助金の差」を耐用年数で割ったものを加えることとする。各機器の耐用年数は給湯器に関しては 10 年、太陽電池、太陽熱温水器の付属機器に関しては 20 年と仮定した。

表 3.1 初期コストの設定

		従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯器	太陽電池	太陽熱温水器
イニシャルコスト (円)	床暖房あり	360000	390000	3465000	700000	2000000	350000
	床暖房なし	380000	440000	3465000	900000	2000000	350000
補助金(円)		0	0	1300000	40000	210000	0

##### ②エネルギーの料金

エネルギーの料金設定に関しては東京電力<sup>[15]</sup>、東京ガス<sup>[16]</sup>の料金体系を参考にして設定をした。電力料金については表 3.2 に示すように現実の料金体系と同じように使用量に応じた 3 段階の料金設定をした。また、HP 給湯機に関しては深夜電力を利用して貯湯を行う際には安価な深夜電力の利用ができるような設定をした。

ガス料金に関しては世帯による区別はなく、従来型給湯機と潜熱回収型給湯機に関しては暖房手法がエアコンと床暖房である場合についてそれぞれ異なる料金体系を考慮した。家庭用燃料電池については暖房手法による区別はなく、他の給湯機とは異なるプランを考慮した設定をした。HP 給湯器に関してはガスの利用はない。

表 3.2 電力料金の設定

通常電力	基本料金(1月当たり)		4人世帯…1365円 2人世帯…1092円
	電力料金	0～120kWh(第1段階)	17.87円/kWh
		120～300kWh(第2段階)	22.86円/kWh
		300kWh～(第3段階)	24.13円/kWh
深夜電力	基本料金(1kW当たり)		315円/kW
	電力料金		9.17円/kWh

表 3.3 ガス料金の設定

従来型給湯機 潜熱回収型給湯機	エアコン	基本料金	1081.5円/月
		単位料金	126.98円/㎡
	床暖房	基本料金	1270.5円/月
		単位料金	117.53円/㎡
家庭用燃料電池		基本料金	1497.3円/月
		単位料金	106.19円/㎡

### ③太陽光発電の余剰電力の買取価格について

本研究では太陽光発電の余剰電力買取制度を考慮し、太陽光発電の余剰電力を自家発電がないケースでは 48 円/kWh で、自家発電があるケース(家庭用燃料電池)では 39 円/kWh で売電できるという設定をした。

## 3.1.2 環境性の評価

### ①エネルギーの CO<sub>2</sub> 排出原単位

系統電力の排出原単位は、電事連<sup>[17]</sup>のデータを参考にして全電源平均で 440g-CO<sub>2</sub>/kWh、深夜電力は全電源平均の 7 割と設定した。つまり、全電源平均の排出原単位が 440g-CO<sub>2</sub>/kWh である時、深夜電力の排出原単位は 308g-CO<sub>2</sub>/kWh である。都市ガスについては 13A の都市ガスの利用を考え、発熱量を 45MJ/m<sup>3</sup>、CO<sub>2</sub>排出原単位は 2.21kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> とした。太陽電池の排出原単位については 53 g-CO<sub>2</sub>/kWh とした。

### ②CO<sub>2</sub>排出量の計算について

コジェネレーションや太陽電池など自家発電された電力については、その分、商用の系統電力から発電が回避されると考えられる。その際、どの発電（電力源）が回避されるかを設定しなければならない。この発電回避における CO<sub>2</sub> 排出削減量については、2 通りの考え方があり、1 つ目はコジェネレーション導入に影響を受けるのは原子力発電などと比較して出力調整が容易であることから火力発電であるという考え、2 つ目は全ての発電方式に差はなく、平均的に発電が回避されるという考えである。本研究ではこの両方の考えに基づき、CO<sub>2</sub> 排出量の計算を 2 つの方法で行う。1 つ目の方法では自家発電の代替電力を火力発電とし、HP 給湯器の深夜電力利用は深夜電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を利用する。2 つ目は自家発電の代替電力を全電源平均とし、HP 給湯器の深夜電力利用についても全電源平均の CO<sub>2</sub> 排出原単位を利用する。以下、前者の場合を「ケース 1」、後者の場合を「ケース 2」と表記することとする。

これらを数式で表すと以下ようになる。従来型給湯器、潜熱回収型給湯器については(3.1)式で表され、ケース 1、ケース 2 とともに同じである。家庭用燃料電池については(3.2)



式で表され、ケース 1 については代替電源の CO<sub>2</sub> 排出原単位を火力発電とし、ケース 2 については全電源平均とする。HP 給湯器については(3.3)式で表され、ケース 1 については深夜の時間帯での HP 給湯器利用電力に対して深夜電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を用い、ケース 2 については全電源平均の CO<sub>2</sub> 排出原単位を用いる。太陽電池については(3.4)式で表され、家庭用燃料電池と同様に、ケース 1 については代替電源の CO<sub>2</sub> 排出原単位を火力発電とし、ケース 2 については全電源平均とする。

$$CO_2 = D_{all} \times E_{pur} + D_{gas} \times G_{pur} \quad (3.1)$$

$$CO_2 = D_{all} \times E_{pur} + D_{gas} \times G_{pur} - (D_{marginal} - D_{all}) \times E_{co} \quad (3.2)$$

$$CO_2 = D_{all} \times E_{pur} + D_{HP} \times E_{HP} \quad (3.3)$$

$$CO_2 = D_{all} \times (E_{demand} - PV_{use} - PV_{sur}) + D_{gas} \times G_{pur} + D_{pv} \times PV_{use} - (D_{marginal} - D_{all}) \times (PV_{use} + PV_{sur}) \quad (3.4)$$

$CO_2$ : CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>]

$D_{all}$ : 全電源平均の CO<sub>2</sub> 排出原単位[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

$D_{gas}$ : ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

$D_{marginal}$ : 代替電源の CO<sub>2</sub> 排出原単位[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

$D_{HP}$ : HP 給湯器利用電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

$D_{pv}$ : 太陽電池の CO<sub>2</sub> 排出原単位[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

$E_{pur}$ : 系統電力からの買電量[kWh]

$G_{pur}$ : ガスの利用量[m<sup>3</sup>]

$E_{co}$ : コージェネレーションによる発電量[kWh]

$E_{HP}$ : HP 給湯器の「深夜電力」利用量[kWh]

$E_{demand}$ : 電力需要量[kWh]

$PV_{use}$ : 太陽電池の利用量[kWh]

$PV_{sur}$ : 太陽電池の余剰電力[kWh]

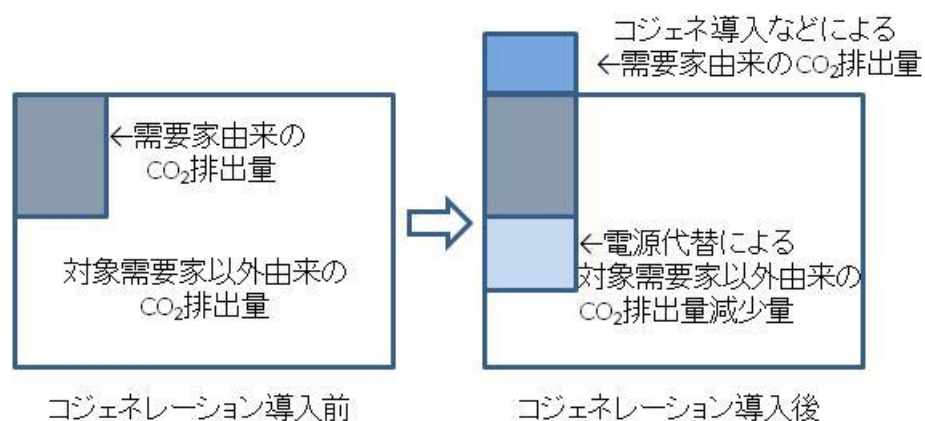


図 3.1 コジェネレーション導入における回避電力の考え方

### ③各地域の水温データ

各地域の給水温データを以下に示す。この月別の平均水温を用いて給湯需要を算出する。本データは各地の水道局に問い合わせ、代表的なデータを提供して頂いた。

表 3.4 地域別の水道温度[℃]

	札幌	東京	鹿児島
1月	5	7.3	11.8
2月	4.8	8.5	12.8
3月	3.9	10.5	13.6
4月	4.1	14.7	14.5
5月	7.9	18.5	19.2
6月	11	22.5	21.9
7月	16.7	22.3	25
8月	18.2	23.6	25.2
9月	19.2	23.6	26.8
10月	17.7	18.2	25.7
11月	14.2	15.8	19
12月	7.6	10.5	12.6

## 3.2 最適化計算の概要

現在普及している高効率給湯器の家庭用燃料電池や HP 給湯器には学習効果という機能が備わっており、需要家の行動パターンを記憶して需要家の行動パターンを予測して稼働している。つまり、給湯を行うという側面からはできるだけ残湯や放熱ロスが少なくなるような無駄のない運転を目標として稼働している。本研究では、高効率給湯器による CO<sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャルを評価することを目的とし、システム評価を最適化計算によって行うこととする。つまり、学習効果が理想的に機能し、需要家の行動があらかじめ把握でき、需要予測に基づいて給湯器が無駄のない稼働をすることを想定したシステム評価となる。

利用者視点からは費用を最小化する運転が望ましいことから費用最小化運転によるシステム評価を行う。費用を最小化することは同時に無駄なエネルギー利用の削減ともつながりがあることから費用最小化による評価は実際の消費者のニーズを捉えた上でのより現実的な CO<sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャルの評価と言える。

### 3.2.1 従来型給湯器、潜熱回収型給湯器の最適化計算

従来型給湯器、潜熱回収型給湯器の最適化計算については貯湯槽を有する装置ではないことから最適化計算は電力需要、給湯需要に対してその都度、無駄のないように供給を行うというモデルとなる。

### 3.2.2 家庭用燃料電池の最適化計算

発電と貯湯を同時に行え、また貯湯槽を有していることから需要予測に応じた運転を行うこととなる。今回、その最適化計算に当たっては混合整数計画法を利用して以下のような条件下で最適化計算を行った。目的関数はトータルコストで(3.5)式で表される。(3.6)式はランニングコストを表し、1 日当たりの値に換算するために基本料金は「30」で除した。(3.7)式で家庭用燃料電池の部分負荷運転を考慮するための 0-1 整数を設定し、(3.8)、(3.9)式で部分負荷運転の制約を課した。「0.24223」は定格発電容量が 1kW の家庭用燃料電池において 1 時間あたりに消費できる都市ガス量(m<sup>3</sup>)である。(3.10)、(3.11)式で家庭用燃料電池の発電量、給熱量を求めた。「12.51」は都市ガスの単位当たり発熱量の電力量換算値(kWh/m<sup>3</sup>)で、「3598」は電力量から熱量への換算値(kJ/kWh)ある。(3.12)、(3.13)式で電力、熱量の需要制約を課した。(3.13)式の「4.184」は 1L の水を 1℃上げるのに必要な熱量(kJ)である。(3.14)式は貯湯槽を介した熱供給の流れを示し、(3.15)式で貯湯槽の容量の制約を課した。「836.8」は家庭用燃料電池の貯湯容量「200L」に 1L の水を 1℃上げるのに必要な熱

量「4.184kJ/(L・℃)」を乗じた値である。(3.16)式は補助熱源機によるガス利用量を示したものである。「45000」は単位ガス当たりの発熱量(kJ/m<sup>3</sup>)である。(3.17)～(3.19)式では電力料金の3段階料金のシステムを数式化したものである。

$$\text{Min} \quad Z = (C_I - S)/T + (\sum_{p=0}^{19} C_R(p))/20 \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \text{S.T.} \quad C_R(p) = & C_{e\_basic}/30 + C_{g\_basic}/30 + C_g \times \sum_{t=0}^{95} Enefarm_g(t, p) \\ & + C_g \times P_g(p) + C_{e1} \times P_{e1}(p) + C_{e2} \times P_{e2}(p) + C_{e3} \times P_{e3}(p) \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$A(t, p) \leq 1 \quad (3.7)$$

$$0.24223/4 \times F_1 \times A(t, p) \leq Enefarm_g(t, p) \quad (3.8)$$

$$0.24223/4 \times F_2 \times A(t, p) \geq Enefarm_g(t, p) \quad (3.9)$$

$$Enefarm_e(t, p) = 12.51 \times eff_e \times Enefarm_g(t, p) \quad (3.10)$$

$$Enefarm_h(t, p) = 3598 \times 12.51 \times eff_h \times Enefarm_g(t, p) \quad (3.11)$$

$$P_e(t, p) + Enefarm_e(t, p) \geq D_e(t, p) \quad (3.12)$$

$$H_t(t, p) + H_g(t, p) \geq$$

$$4.184 \times \{D_h(t, p) + B(t)\} \times (T_h - T_c) + O(t) \quad (3.13)$$

$$\{Tank(t-1, p) + Tank(t+95, p)\} \times (1-R)$$

$$+ \{Enefarm_h(t-1, p) + Enefarm_h(t+95, p)\}$$

$$= Tank(t, p) + H_t(t, p) + E(t, p) \quad (3.14)$$

$$Tank(t, p) \leq 836.8 \times (60 - T_c) \quad (3.15)$$

$$P_g(p) = \sum_{t=0}^{95} \{H_g(t, p)/(eff_g \times 45000)\} \quad (3.16)$$

$$P_{e1}(p) + P_{e2}(p) + P_{e3}(p) = \sum_{t=0}^{95} P_e(t, p) \quad (3.17)$$

$$P_{e1}(p) \leq 120 / 30 \quad (3.18)$$

$$P_{e2}(p) \leq 180 / 30 \quad (3.19)$$

$$(All variables \geq 0) \quad (t = 0, 1, \dots, 95) \quad (p = 0, 1, \dots, 19)$$

$Z$ : 目的関数(トータルコスト) [円/日]

$C_I$ : イニシャルコスト [円]

$C_R(p)$ : ランニングコスト [円/日]

$S$ : 補助金 [円]

$T$ : 耐用日数 [日]

$C_{e\_basic}$ : 基本料金(電力) [円/月]

$C_{g\_basic}$ : 基本料金(ガス) [円/月]

$C_g$ : ガスの単位料金 [円/m<sup>3</sup>]

$Enefarm_g(t, p)$ : ガスの購入量(家庭用燃料電池由来) [m<sup>3</sup>]

$P_g(p)$ : ガスの購入量(補助熱源機由来) [m<sup>3</sup>]

$P_e(t, p)$ : 電力購入量 [kWh]

$P_{e1}(p)$ : 電力購入量(第 1 段階料金) [kWh]

$P_{e2}(p)$ : 電力購入量(第 2 段階料金) [kWh]

$P_{e3}(p)$ : 電力購入量(第 3 段階料金) [kWh]

$C_{e1}$ : 単位電力料金(第 1 段階料金) [円/ kWh]

$C_{e2}$ : 単位電力料金(第 2 段階料金) [円/ kWh]

$C_{e3}$ : 単位電力料金(第 3 段階料金) [円/ kWh]

$D_e(t, p)$ : 電力需要量 [kWh]

$D_h(t, p)$ : 給湯需要量 [L]

$B(t)$ : 湯はり量 [L]

$Enefarm_e(t, p)$ : 発電量(家庭用燃料電池由来) [kWh]

$Enefarm_h(t, p)$ : 給熱量(家庭用燃料電池由来) [kJ]

$eff_e$ : 発電効率(家庭用燃料電池)

$eff_h$ : 熱回収効率(家庭用燃料電池)

$eff_g$ : 補助熱源機の熱効率

$A(t, p)$ : 家庭用燃料電池の稼働の有無を示す 0-1 整数

$f_1$ : 家庭用燃料電池の最低負荷率

$f_2$ : 家庭用燃料電池の最高負荷率

$H(t, p)$ : 貯湯槽からの熱供給 [kJ]

$H_g(t, p)$ : 補助熱源機からの熱供給 [kJ]

$Tank(t,p)$ : 貯湯槽の蓄熱量[kJ]  
 $R$ : 15 分当たりの貯湯槽の放熱率  
 $O(t)$ : 追い焚き量[kJ]  
 $E(t,p)$ : 排熱[kJ]  
 $T_c$ : 水道水温度[°C]  
 $T_h$ : 給湯温度[°C]

### 3.2.3 HP 給湯器の最適化計算

給湯需要に備えてあらかじめ貯湯槽にお湯を貯めておく HP 給湯機も需要予測に応じた運転を行うこととなる。今回、その最適化計算に当たっては線形計画法を利用して以下のような条件下で最適化計算を行った。目的関数はトータルコストで(3.20)式で表される。(3.21)式はランニングコストを表し、1 日当たりの値に換算するために基本料金は「30」で除した。(3.22)、(3.23)式で電力、熱量の需要制約を課した。(3.23)式の「4.184」は 1L の水を 1°C 上げるのに必要な熱量(kJ)である。(3.24)式は貯湯槽を介した熱供給の流れを示し、「3598」は電力量から熱量への換算値(kJ/kWh)ある。(3.25)式で貯湯槽の容量の制約を課し、「4.184」は 1L の水を 1°C 上げるのに必要な熱量(kJ)である。(3.26)式は HP 給湯器の消費電力の制約である。(3.27)式では通常の電力供給量と昼間の HP 給湯器の利用電力量の和で通常料金が適用される電力量を求めている。(3.28)式で HP 給湯器の深夜電力利用量を求めている。(3.29)～(3.31)式では電力料金の 3 段階料金のシステムを数式化したものである。

$$Min \quad Z = (C_I - S) / T + (\sum_{p=0}^{19} C_R(p)) / 20 \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned}
 S.T. \quad C_R(p) &= C_{e\_basic} / 30 + C_{n\_basic} \times Contract / 30 \\
 &+ C_{e1} \times P_{e1}(p) + C_{e2} \times P_{e2}(p) + C_{e3} \times P_{e3}(p) + C_n \times P_n(p) \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

$$S_e(t, p) \geq D_e(t, p) \quad (3.22)$$

$$H_t(t, p) \geq 4.184 \times \{D_h(t, p) + B(t)\} \times (T_h - T_c) + O(t) \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned}
& \{Tank(t-1, p) + Tank(t+95, p)\} \times (1-R) \\
& + \{Ecocute(t-1, p) + Ecocute(t+95, p)\} \\
& \quad \times 0.25 \times 3598 \times COP(t) \\
& = Tank(t, p) + H_t(t, p) + E(t, p)
\end{aligned} \tag{3.24}$$

$$Tank(t, p) \leq 4.184 \times Capacity \times (T_t - T_c) \tag{3.25}$$

$$Ecocute(t, p) \leq Contract \tag{3.26}$$

$$P_e(p) = \sum_{t=0}^{95} \{S_e(t, p) + Ecocute(t, p) \times 0.25 \times day(t)\} \tag{3.27}$$

$$P_n(p) = \sum_{t=0}^{95} \{Ecocute(t, p) \times 0.25 \times night(t)\} \tag{3.28}$$

$$P_{e1}(p) + P_{e2}(p) + P_{e3}(p) = \sum_{t=0}^{95} P_e(p) \tag{3.29}$$

$$P_{e1}(p) \leq 120 / 30 \tag{3.30}$$

$$P_{e2}(p) \leq 180 / 30 \tag{3.31}$$

$$(Allvariables \geq 0) \quad (t = 0,1,...,95) \quad (p = 0,1,...,19)$$

$Z$ : 目的関数(トータルコスト) [円/日]

$C_I$ : イニシャルコスト [円]

$C_R(p)$ : ランニングコスト [円/日]

$S$ : 補助金 [円]

$T$ : 耐用日数 [日]

$C_{e\_basic}$ : 基本料金(電力) [円/月]

$C_{n\_basic}$ : 基本料金(深夜電力) [円/(月・kW)]

$Contract$ : HP 給湯器の契約単位 [kW]

$P_e(p)$ : 電力購入量(HP 給湯器の深夜電力利用以外) [kWh]

$P_{e1}(p)$ : 電力購入量(第 1 段階料金) [kWh]

$P_{e2}(p)$ : 電力購入量(第 2 段階料金) [kWh]

$P_{e3}(p)$ : 電力購入量(第 3 段階料金) [kWh]

$C_{e1}$ : 単位電力料金(第 1 段階料金) [円/ kWh]

$C_{e2}$ : 単位電力料金(第 2 段階料金) [円/ kWh]

$C_{e3}$ : 単位電力料金(第 3 段階料金) [円/ kWh]

$P_n(p)$ : 深夜電力購入量(HP 給湯器の深夜電力利用) [kWh]

$C_n$ : 単位電力料金(深夜電力) [円/ kWh]  
 $S_e(t,p)$ : 電力供給量(給湯以外)[kWh]  
 $D_e(t,p)$ : 電力需要量(給湯以外)[kWh]  
 $D_h(t,p)$ : 給湯需要量[L]  
 $B(t)$ : 湯はり量[L]  
 $Ecocute(t,p)$ : 消費電力[kW]  
 $H_i(t,p)$ : 貯湯槽からの熱供給[kJ]  
 $Tank(t,p)$ : 貯湯槽の蓄熱量[kJ]  
 $COP(t)$ : HP 給湯器の HPCOP  
 $R$ : 15 分当たりの貯湯槽の放熱率  
 $O(t)$ : 追い焚き量[kJ]  
 $Capacity$ : 貯湯槽の容量[L]  
 $E(t,p)$ : 排熱[kJ]  
 $T_c$ : 水道水温度[°C]  
 $T_h$ : 給湯温度[°C]  
 $T_t$ : 貯湯槽の貯湯温度[°C]  
 $day(t)$ : 7 時~23 時の間は「1」、それ以外は「0」の定数  
 $night(t)$ : 23 時~7 時の間は「1」、それ以外は「0」の定数



### 3.3 シミュレーションの条件設定の妥当性の評価について

本研究ではシステム評価をするに当たって実測値での評価ではなく、シミュレーションによる評価である。そのため、現実の値との乖離がないことが重要となる。

そこで本節では、各々のシステム評価を行う前に本研究で設定したエネルギー需給モデル、経済性・環境性の評価手法の妥当性についての評価を行う。今回、妥当性評価に用いるのは現在、家庭の多くで使われている従来型給湯器を利用している需要家とする。

本研究では電力需要、空調負荷、経済性、環境性についての現実整合性を評価する。給湯需要に関しては河野<sup>54</sup>が用いた値を用いており、河野がその値の現実整合性を示している。

#### 3.3.1 電力需要

ここでは、表 3.5 に対応する 11 世帯を組み合わせ、需要家の電力利用量(動力他)を推定する。需要家の構成割合については総務省国勢調査<sup>[18]</sup>を用いて全国の世帯構成割合を算出し、その割合を求めた。

表 3.5 世帯構成割合と 1000 世帯集合住宅における構成世帯数

総務省国勢調査における世帯分類		構成する需要家	世帯構成割合 (%)
核家族世帯	a.夫婦のみの世帯	男勤め人、女勤め人	14.3
	b.夫婦と子供から成る世帯	男勤め人、家庭婦人、小学生、中学生	24.14
	c.ひとり親と子供から成る世帯	女勤め人、小学生、中学生	5.75
d.その他親族世帯	(三世代家族等)	男勤め人、家庭婦人、男勤め人、女勤め人、小学生	10.29
e.非親族世帯	(同棲等)	男勤め人、女勤め人	0.3
f.単独世帯		男勤め人	20.89
65歳以上親族のいる世帯	g.夫婦以外核家族世帯	男70歳以上、女70歳以上、男勤め人	5.08
	h.高齢夫婦世帯	男70歳以上、女70歳以上	5.91
	i.高齢単身世帯(男)	男70歳以上	1.19
	j.高齢単身世帯(女)	女70歳以上	3.7
	k.三世代家族世帯	男70歳以上、女70歳以上、男勤め人、家庭婦人、小学生、中学生	8.44

この 11 種類の世帯に対して第 2 章で示した行動モデルを用いて年間の電力需要量を求め、図 3.2 に示した。この値と表 3.5 で示した世帯構成割合から世帯当たりの年間の電力需要量を求めると 4142(kWh/年)となった。EDMC<sup>[4]</sup>によると 2005 年度の家庭部門における世帯当たりの電力消費量が 4278(kWh/年)であり、約 3%の差であることから、本モデルによる電力需要の設定は現実整合性があると言える。

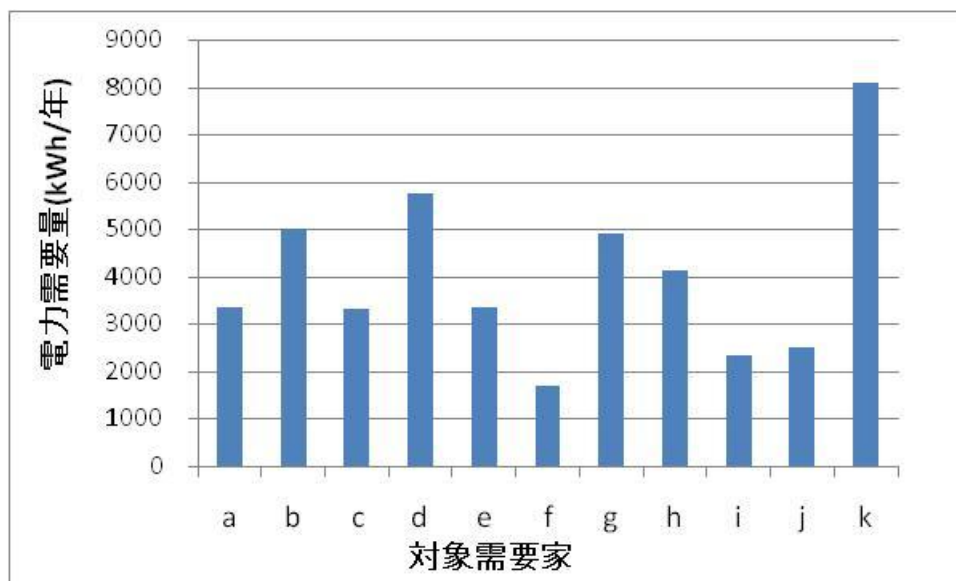


図 3.2 世帯別の年間電力需要量

### 3.3.2 空調負荷

空調負荷の現実整合性の評価については計算の簡略化のために表 3.5 で「b」に対応する「4人世帯」と「a」に対応する2人世帯の「夫婦世帯」と「h」に対応する「高齢夫婦」を用いて行う。対象需要家については地域を「東京」、住宅を「新省エネ基準住宅」とする。

エアコン(空調負荷)の家庭での消費電力に占める割合は資源エネルギー庁発表の平成 16 年度電力需給の概要<sup>[19]</sup>によると図 3.3 に示すように 25.2% (平成 16 年度)である。

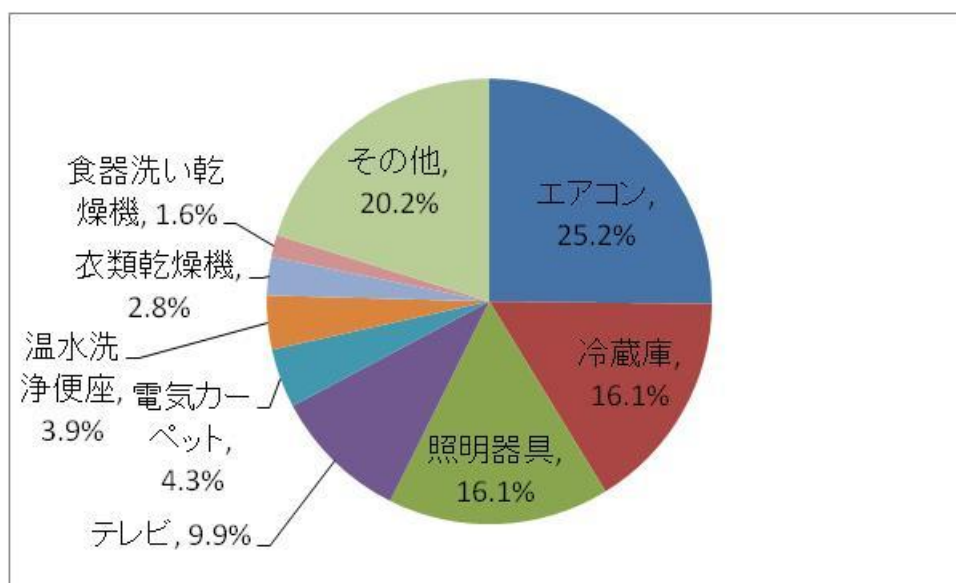


図 3.3 家庭で使用する電力の用途別使用量

第 2 章で示した電力需要モデルと空調負荷モデルを組み合わせることで各需要家の総電力需要に占める空調負荷の割合を求めたものが表 3.6 である。いずれの値も現実の統計データと大きな差はなく、本研究で用いる空調負荷モデルは十分に使用可能であると言える。

表 3.6 電力需要に占める空調負荷の割合(東京、新省エネ基準住宅)

4人世帯	夫婦世帯	高齢夫婦世帯
28.3%	30.0%	23.8%

### 3.3.3 経済性

本研究では 3.1 節において経済性を評価する際の条件を設定した。この条件設定を基にして地域を「東京」、住宅を「新省エネ基準住宅」、対象機器を「従来型給湯機」として年間のランニングコストを計算した。今回、現実整合性を検証する際には総務省の「家計調査(2008 年)」<sup>[20]</sup>を用いることとした。家計調査の元データは「光熱費」の内訳を「電気代」、「ガス代」、「他の光熱費」、「水道代」と分類している。本研究で対象としている暖房器具はエアコンと床暖房であり、石油ファンヒーターなどは考慮していない。つまり、本研究のシミュレーションで求めるものは「電気代」と「ガス代」の 2 つである。「水道代」については本研究の対象外である。「他の光熱費」に含まれるものは主に暖房器具として「石油ファンヒーター」を利用した際の燃料代であると考えられる。そこで本研究では「他の光熱費」は「暖房代」に当たるものと考えて、「電気代」と同等のものであると仮定することにした。すなわち今回、計算結果の「電気代」と比較するものは家計調査の「電気代」と「他の光熱費」の和とし、表 3.7 に示した。また本研究の条件設定を基にして求められた「電気代」、「ガス代」については表 3.8 に示した。

図 3.4 に示すように統計値と計算結果に大きな差はなく、経済性についても本研究の条件設定を適用することに問題はないと言える。

表 3.7 世帯人数別の電気代、ガス代の統計データ(総務省、家計調査)

	1人	2人	3人	4人	5人	6人以上
電気代+他の光熱費(円/月)	5287	9522	11036	11472	13264	17212
ガス代(円/月)	3053	4895	5826	6333	6642	6626
合計(円/月)	8340	14417	16862	17805	19906	23838

表 3.8 電気代、ガス代の計算結果(東京、新省エネ基準住宅)

		4人世帯	夫婦世帯	高齢夫婦世帯
ランニングコスト (円/月)	電力	14475	9756	11052
	ガス	6302	4938	5026
	電力+ガス	20776	14694	16078

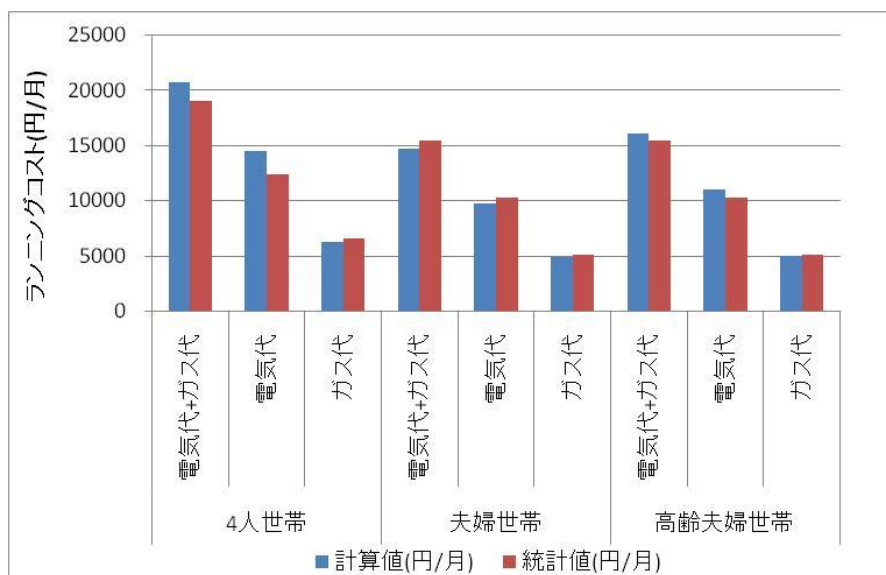


図 3.4 計算結果と統計値の比較

### 3.3.4 環境性

本研究では 3.1 節において環境性を評価する際の条件を設定した。この条件設定を基にして地域を「東京」、住宅を「新省エネ基準住宅」、対象機器を「従来型給湯機」として年間の CO<sub>2</sub> 排出量を計算した。結果は表 3.9 のようになった。表 3.5 に示したように全世帯構成のうち「夫婦世帯」、「高齢夫婦世帯」が占める割合は 14.3%、5.91%であることから 2 人世帯の CO<sub>2</sub> 排出量はこの加重平均を計算して「2998(kg-CO<sub>2</sub>/年)」とする。

表 3.9 CO<sub>2</sub> 排出量の計算結果

	4人世帯	夫婦世帯	高齢夫婦世帯
CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /年)	4170	2911	3215

この求めた計算結果の現実整合性を評価する値としては図 3.5 に示した「温室効果ガスインベントリオフィス」による 2008 年度のデータ<sup>[3]</sup>を用いる。本研究で対象とする 1 世帯当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は電力、ガスを利用する行動に基づくものであるから図 3.5 から「ガソリン、軽油、一般廃棄物、水道」を除いたものである。よって本研究で計算結果の比較対象として用いる 1 世帯当たりの CO<sub>2</sub> 排出量は約 3265(kg-CO<sub>2</sub>/年)となる。

ここで世帯当たりの人員は「総務省」の「平成 17 年国勢調査」<sup>[21]</sup>によると 2.55 人である。今回計算の対象とした世帯人数は「4 人」と「2 人」であることから 1 世帯当たりの人数が 2.55 人となるような比(4 人世帯 : 2 人世帯 = 0.275 : 0.725)で 1 世帯当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の加重平均を求めると 3320(kg-CO<sub>2</sub>/年)となる。この値を 1 世帯当たりの CO<sub>2</sub> 排出量の

計算結果とすると統計値が 3265(kg-CO<sub>2</sub>/年)であることから 2%以下の差でしかなく、環境性の評価手法は現実整合性が十分にあると言える。

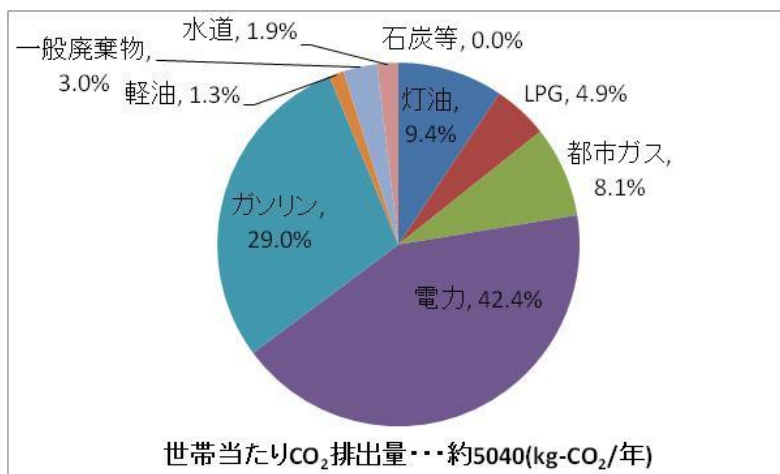


図 3.5 年間の世帯当たりの CO<sub>2</sub> 排出量内訳

## 第4章 エネルギーシミュレーションの結果

### 4.1 シミュレーション結果

本節では暖房手法をエアコンとし、自然エネルギーと同時導入を考えない場合におけるシミュレーション結果を世帯構成・住宅の断熱基準別に図 4.1～4.4、表 4.1～4.4 に示す。

まずは経済性の観点から給湯器の比較を行う。総コストで見るといずれの場合についても家庭用燃料電池のコストが際立って高くなっていることが見てとれる。これはイニシャルコストが補助金を考慮しても 216.5 万円と他の給湯器と比較して極めて高いことが影響している。図 4.1～4.4 を見るとどの場合についても他の 3 つの給湯器に関しては大きな差はないが、HP 給湯器、潜熱回収型給湯機、従来型給湯機の順に経済性に優れているという結果が得られた。HP 給湯器が従来型給湯器と潜熱回収型給湯器と比較してイニシャルコストが高いにもかかわらず、経済性に優れている理由としては安価な深夜電力の利用によってランニングコストを抑えることができるからであると考えられる。通常の電力料金単価は「17.87～24.13(円/kWh)」であることに対して深夜電力は「9.17(円/kWh)」である。コスト最小化運転を行う場合、HP 給湯器の深夜電力利用率は 99%を超えており、この結果、表 4.1～4.4 を見るといずれの場合でもランニングコストは従来型給湯器と比較して 8 割程度となっている。ランニングコストだけで見れば家庭用燃料電池は HP 給湯器に続いて優れているという結果が得られた。このことから大量普及や生産技術の向上などによりイニシャルコストが低下すれば総コストでも経済的に他の給湯器と差がなくなることを示していると言える。

次に環境性について給湯器ごとの比較を行う。環境性についてはケース 1、ケース 2 の 2 つの計算方法によって評価を行う。ケース 1 は自家発電の代替電力を火力発電とし、HP 給湯器の深夜電力利用は深夜電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を利用して CO<sub>2</sub> 排出量を計算したものである。ケース 2 は自家発電の代替電力を全電源平均とし、HP 給湯器の深夜電力利用についても全電源平均の CO<sub>2</sub> 排出原単位を利用して CO<sub>2</sub> 排出量を計算したものである。

まずはケース 1 の計算手法に基づく環境性についての考察を行う。図 4.1～4.4 を見るといずれの場合についても家庭用燃料電池の環境性が優れており、従来型給湯器と比較して約 6 割程度の CO<sub>2</sub> 排出量となっている。これは家庭用燃料電池の自家発電により系統電力で環境負荷の大きい火力発電を減らせるという火力代替効果が大きくなるためである。HP 給湯器に関してもいずれの場合でも 10%は超えないものの CO<sub>2</sub> 排出量削減効果があった。これは HP 給湯器による給湯の際に CO<sub>2</sub> 排出原単位の小さい深夜電力を利用している影響である。続いてケース 2 での計算手法に基づく環境性についての考察を行う。図 4.1～4.4 を見るとケース 2 の計算手法においても火力代替効果はないものの家庭用燃料電池が最も

CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなっており、自家発電の際に排熱を有効活用するコージェネレーションの環境性の良さを示していると言える。HP 給湯器に関しては従来型給湯機と比較して鹿児島では深夜電力における CO<sub>2</sub> 排出原単位の低下の考慮がなくても CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなるものの札幌、東京に関しては増加するという結果が得られた。今回、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位に関しては 3 地域について等しく 0.44kg-CO<sub>2</sub>/kWh と一定としている。しかし、例えば東京電力<sup>[22]</sup>では系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位は 2008 年度で 0.418kg-CO<sub>2</sub>/kWh、2009 年度では 0.384kg-CO<sub>2</sub>/kWh であり、今回の設定とした全国平均の CO<sub>2</sub> 排出原単位より小さくなっている。このことから地域別に CO<sub>2</sub> 排出原単位を設定すれば、系統電力の影響を最も受ける HP 給湯器に関しては傾向が少々異なることが予想できる。このような背景を踏まえると、今回の分析結果では CO<sub>2</sub> 排出原単位を全国一律で等しいと仮定した場合、札幌、東京のような「気候」ならば HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が増加してしまうことを示していることを強調する。潜熱回収型給湯器に関してはケース 1、ケース 2 の計算手法のどちらでも従来型給湯器と比較して 5% 近く減らせることが示された。

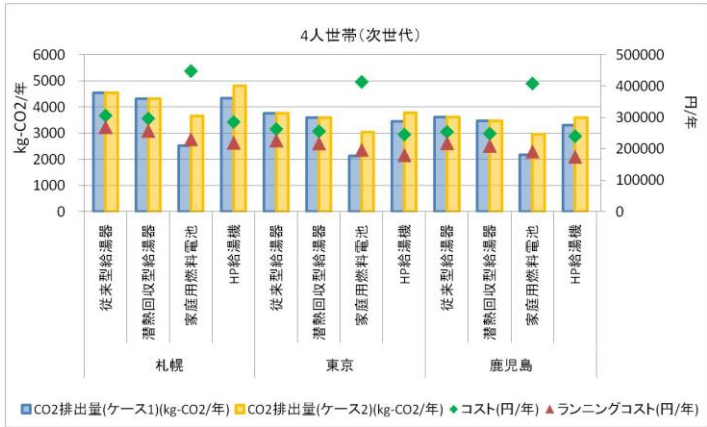


図 4.1 4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

表 4.1 4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

4人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	305821	296696	447392	285685	263036	256174	412956	245621	254366	248614	407750	240264
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	97.0%	146.3%	93.4%	100.0%	97.4%	157.0%	93.4%	100.0%	97.7%	160.3%	94.5%
ランニングコスト(円/年)	269821	257696	230892	219685	227036	217174	196456	179621	218366	209614	191250	174263
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.5%	85.6%	81.4%	100.0%	95.7%	86.5%	79.1%	100.0%	96.0%	87.6%	79.8%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	4531	4321	2522	4324	3763	3591	2134	3453	3611	3459	2160	3309
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.4%	55.7%	95.4%	100.0%	95.4%	56.7%	91.8%	100.0%	95.8%	59.8%	91.6%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	4531	4321	3647	4802	3763	3591	3040	3785	3611	3459	2961	3593
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.4%	80.5%	106.0%	100.0%	95.4%	80.8%	100.6%	100.0%	95.8%	82.0%	99.5%



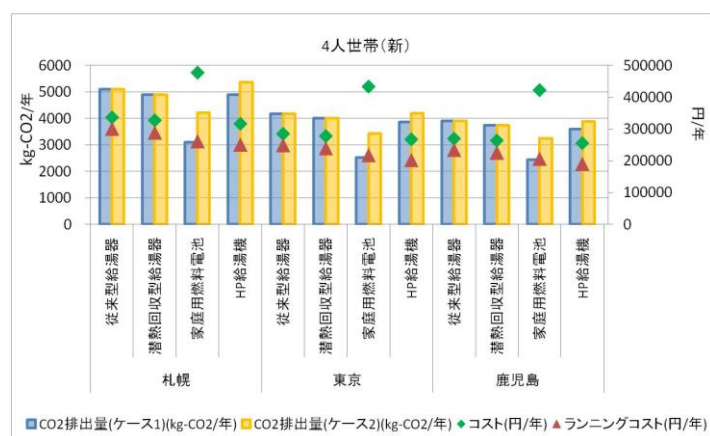


図 4.2 4 人世帯・新省エネ基準住宅の結果

表 4.2 4 人世帯・新省エネ基準住宅の結果

4人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	337012	327889	478008	316876	285318	278457	434068	267902	270224	264473	422769	256122
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	97.3%	141.8%	94.0%	100.0%	97.6%	152.1%	93.9%	100.0%	97.9%	156.5%	94.8%
ランニングコスト(円/年)	301012	288888	261509	250876	249318	239456	217568	201903	234224	225473	206269	190122
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	96.0%	86.9%	83.3%	100.0%	96.0%	87.3%	81.0%	100.0%	96.3%	88.1%	81.2%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	5099	4889	3090	4892	4170	3997	2529	3860	3900	3747	2442	3598
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.9%	60.6%	95.9%	100.0%	95.9%	60.6%	92.6%	100.0%	96.1%	62.6%	92.3%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	5099	4889	4210	5372	4170	3997	3437	4192	3900	3747	3245	3882
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.9%	82.6%	105.3%	100.0%	95.9%	82.4%	100.5%	100.0%	96.1%	83.2%	99.5%

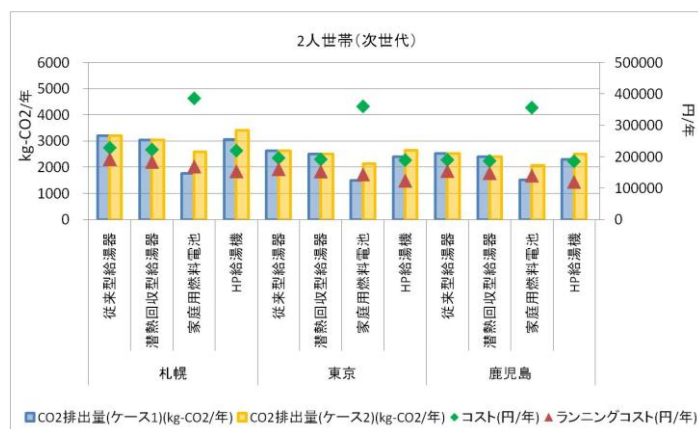


図 4.3 2 人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

表 4.3 2 人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

2人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	229021	223033	386045	219893	196714	192435	360390	189641	190659	187210	356491	186011
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	97.4%	168.6%	96.0%	100.0%	97.8%	183.2%	96.4%	100.0%	98.2%	187.0%	97.6%
ランニングコスト(円/年)	193021	184033	169545	153894	160714	153435	143890	123642	154659	148211	139991	120011
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.3%	87.8%	79.7%	100.0%	95.5%	89.5%	76.9%	100.0%	95.8%	90.5%	77.6%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	3205	3048	1768	3056	2625	2499	1499	2400	2520	2407	1514	2299
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.1%	55.2%	95.4%	100.0%	95.2%	57.1%	91.4%	100.0%	95.5%	60.1%	91.2%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	3205	3048	2589	3418	2625	2499	2138	2647	2520	2407	2080	2510
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.1%	80.8%	106.6%	100.0%	95.2%	81.4%	100.8%	100.0%	95.5%	82.6%	99.6%



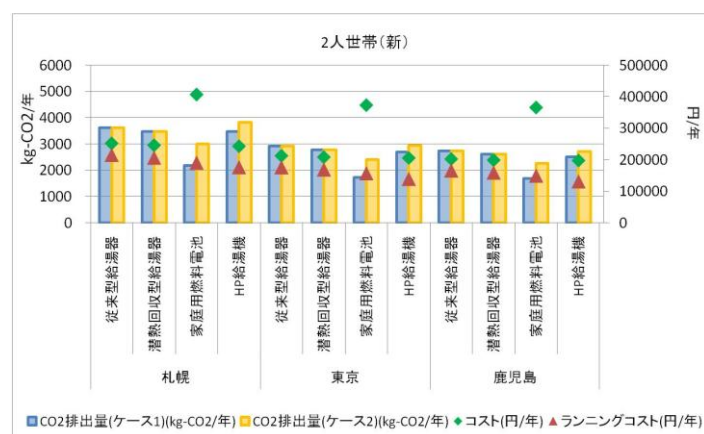


図 4.4 2 人世帯・新省エネ基準住宅の結果

表 4.4 2 人世帯・新省エネ基準住宅の結果

2人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	251873	245883	407431	242746	212331	208052	373760	205257	201979	198530	366131	197331
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	97.6%	161.8%	96.4%	100.0%	98.0%	176.0%	96.7%	100.0%	98.3%	181.3%	97.7%
ランニングコスト(円/年)	215873	206885	190931	176745	176331	169053	157260	139258	165979	159530	149631	131332
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.8%	88.4%	81.9%	100.0%	95.9%	89.2%	79.0%	100.0%	96.1%	90.2%	79.1%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	3622	3465	2176	3474	2911	2784	1732	2685	2726	2614	1681	2506
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.7%	60.1%	95.9%	100.0%	95.6%	59.5%	92.2%	100.0%	95.9%	61.7%	91.9%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	3622	3465	2995	3833	2911	2784	2397	2933	2726	2614	2268	2715
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.7%	82.7%	105.8%	100.0%	95.6%	82.4%	100.8%	100.0%	95.9%	83.2%	99.6%

### 4.1.1 地域差比較

地域別に各給湯機の性能の差についての検討を行う。今回、地域差を比較するために用いた需要家の条件は世帯構成を「4人世帯」で住宅を「新省エネ基準住宅」とした。給湯器別にまとめたものを図 4.5、表 4.5 に示す。

ガスを利用する高効率給湯器である潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池に関してはランニングコスト、CO<sub>2</sub>排出量のケース 1、ケース 2 とともに地域差は特になく、東京とほぼ同等の比率となっている。これは地域によって給湯器の性能に差は生じることがなく、単純に需要量に基づいた燃料の利用量に応じたコスト、CO<sub>2</sub> 排出量となるからである。電力需要量と給湯需要量を合わせたエネルギー需要量の比(東京を基準とする)を表 4.6 示す。ランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量とともにこのエネルギー需要量の比とほぼ等しくなっていることが見てとれる。

しかし、HP 給湯器に関しては傾向が若干異なる。東京と鹿児島についてはランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量がともにエネルギー需要量の比とほぼ等しくなるのに対して札幌では東京と比較してエネルギー需要量比が「122.4%」であることに対して、ランニングコストが「124.3%」、CO<sub>2</sub> 排出量がケース 1 で「126.7%」、ケース 2 で「128.1%」とエネルギー需要量比より差が大きくなっている。特に環境性については差が大きくなっていることが分かる。ランニングコストについては深夜電力の割引効果が大いことから機器の性能の低下の影響は出にくくなっているが、環境性については機器の性能と直結する指標であることから、環境性の悪化は HP 給湯器の性能が寒冷地において低下しているからであると考えられる。地域別に HP 給湯器の性能を示す COP(年平均)を見てみると図 4.6 に示したように東京と鹿児島では大きな差はないが札幌については他の 2 地域と比較して COP が小さくなっていることが分かる。COP が(2.4)式で示したように外気温に依存するためである。このことから HP 給湯器はガスを利用した給湯器と比較して気候による影響を受けやすく、経済性、環境性ともに悪化するという結果が得られた。



図 4.5 地域差比較(4人世帯、新省エネ基準住宅)

表 4.5 地域差比較(4人世帯、新省エネ基準住宅)

4人世帯(新)	従来型給湯機			潜熱回収型給湯機			家庭用燃料電池			HP給湯機		
	札幌	東京	鹿児島	札幌	東京	鹿児島	札幌	東京	鹿児島	札幌	東京	鹿児島
コスト(円/年) (下段は東京との比較)	337012	285318	270224	327889	278457	264473	478008	434068	422769	316876	267902	256122
	118.1%	100.0%	94.7%	117.8%	100.0%	95.0%	110.1%	100.0%	97.4%	118.3%	100.0%	95.6%
ランニングコスト(円/年) (下段は東京との比較)	301012	249318	234224	288888	239456	225473	261509	217568	206269	250876	201903	190122
	120.7%	100.0%	93.9%	120.6%	100.0%	94.2%	120.2%	100.0%	94.8%	124.3%	100.0%	94.2%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年) (下段は東京との比較)	5099	4170	3900	4889	3997	3747	3090	2529	2442	4892	3860	3598
	122.3%	100.0%	93.5%	122.3%	100.0%	93.7%	122.2%	100.0%	96.6%	126.7%	100.0%	93.2%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年) (下段は東京との比較)	5099	4170	3900	4889	3997	3747	4210	3437	3245	5372	4192	3882
	122.3%	100.0%	93.5%	122.3%	100.0%	93.7%	122.5%	100.0%	94.4%	128.1%	100.0%	92.6%

表 4.6 エネルギー需要量比

	札幌	東京	鹿児島
エネルギー需要量比 (東京を1とした場合)	122.4%	100.0%	92.5%

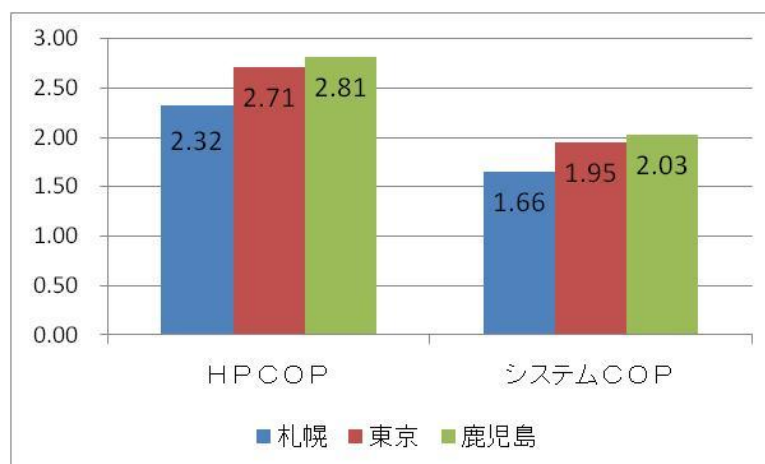


図 4.6 地域別 COP(年平均)

### 4.1.2 世帯構成による比較

世帯構成の違いが給湯器の経済性、環境性にどのような影響を与えるかを考察する。今回、考察の対象とした需要家は世帯構成の考察に関しては地域を「東京」、住宅を「新省エネ基準住宅」とした。世帯構成が経済性、環境性に与える影響について4人世帯と2人世帯の比較を図4.7、表4.7に示した。

エネルギー需要量の差からどの給湯器であっても「4人世帯」より「2人世帯」の方が経済性、環境性ともに小さな値を示している。しかし、給湯器ごとにその比率を比較してみると差はほとんどなく世帯構成の違いが給湯器の経済性、環境性に与える影響はあまりないと言える。

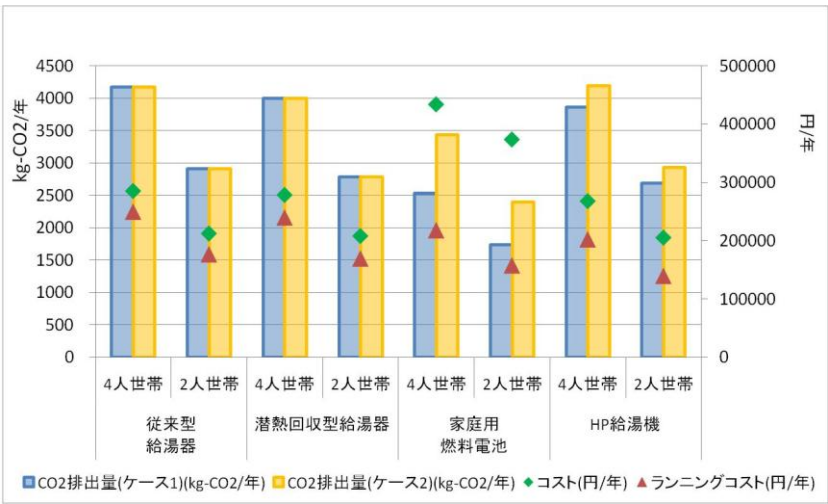


図 4.7 世帯構成比較(東京、新省エネ基準住宅)

表 4.7 世帯構成比較(東京、新省エネ基準住宅)

	従来型給湯器		潜熱回収型給湯器		家庭用燃料電池		HP給湯機	
	4人世帯	2人世帯	4人世帯	2人世帯	4人世帯	2人世帯	4人世帯	2人世帯
コスト(円/年) (下段は4人世帯との比較)	285318	212331	278457	208052	434068	373760	267902	205257
	100.0%	74.4%	100.0%	74.7%	100.0%	86.1%	100.0%	76.6%
ランニングコスト(円/年) (下段は4人世帯との比較)	249318	176331	239456	169053	217568	157260	201903	139258
	100.0%	70.7%	100.0%	70.6%	100.0%	72.3%	100.0%	69.0%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年) (下段は4人世帯との比較)	4170	2911	3997	2784	2529	1732	3860	2685
	100.0%	69.8%	100.0%	69.6%	100.0%	68.5%	100.0%	69.6%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年) (下段は4人世帯との比較)	4170	2911	3997	2784	3437	2397	4192	2933
	100.0%	69.8%	100.0%	69.6%	100.0%	69.8%	100.0%	70.0%

### 4.1.3 住宅の断熱基準による比較

住宅の断熱基準が給湯器の経済性、環境性にどのような影響を与えるかを考察する。今回、考察の対象とした需要家は世帯構成の考察に関しては地域を「東京」、世帯構成を「4人世帯」とした。住宅の断熱基準が経済性、環境性に与える影響について次世代省エネ基準住宅と新省エネ基準住宅の比較を図 4.8、表 4.8 に示した。

いずれの給湯器に関しても次世代省エネ基準住宅と比較して新省エネ基準住宅では経済性、環境性ともに悪化していることが分かる。これは断熱性能が悪くなることでエアコンによる暖房利用量が増えてしまい、電力需要が大きくなるためである。この影響によって経済性に関してはどの給湯器についてもほぼ同じ割合で悪化しているのに対して、環境性に関しては家庭用燃料電池が他の給湯器よりも悪化している割合が大きくなっている。これは電力需要量と給湯需要量の比の差が原因であると考えられる。図 4.9 に需要家別に電力需要量と給湯需要量の比を示したが、東京については次世代省エネ基準住宅では 1.23 であるのに対して新省エネ基準住宅では 1.42 となり電力の需要割合が大きくなっている。家庭用燃料電池のようなコジェネレーションシステムにおいては給湯需要量が多い方がより多く発電が行えることから電力の需要割合が小さい方がコジェネレーションの強みを環境面においてより発揮できると言える。このため、家庭用燃料電池に関しては次世代省エネ基準住宅の方が環境性において優れた値を示す。

また、この結果に対して、吉田<sup>[23]</sup>の研究においては家庭用燃料電池においては新省エネ基準のような断熱基準が低い方が環境性において優れた値を示すとされている。これは本研究と吉田の研究の条件設定の違いによるものである。本研究の本項においては家庭の暖房手法としては電気エアコンとしていて、家庭用燃料電池の発電時に伴う排熱（熱回収）を暖房に利用できてはいない。しかし、吉田の研究では家庭用燃料電池の排熱を暖房に利用できるようにシステムで評価している。そのようなシステムにおいては家庭用燃料電池における熱回収分を暖房に利用することから、暖房利用量の増加は本項のシステムにおいては給湯需要（熱需要）の増加している場合と考えられる。その結果として新省エネ基準住宅のような低断熱基準住宅の方が家庭用燃料電池の導入効果は大きいとしている。

このことから本研究と吉田の研究から共通して言えることは家庭用燃料電池による熱回収を効率よく利用できるように給湯需要（熱需要）が増大した方が家庭用燃料電池に関してはメリットが大きくなるということである。

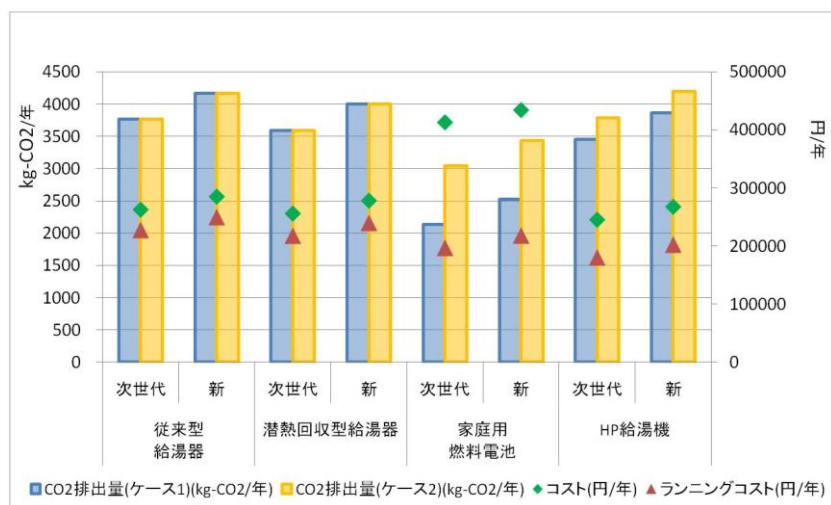


図 4.8 住宅の断熱基準比較(東京、4人世帯)

表 4.8 住宅の断熱基準比較(東京、4人世帯)

	従来型給湯器		潜熱回収型給湯器		家庭用燃料電池		HP給湯機	
	次世代	新	次世代	新	次世代	新	次世代	新
コスト(円/年) (下段は次世代省エネ基準住宅との比較)	263036	285318	256174	278457	412956	434068	245621	267902
	100.0%	108.5%	100.0%	108.7%	100.0%	105.1%	100.0%	109.1%
ランニングコスト(円/年) (下段は次世代省エネ基準住宅との比較)	227036	249318	217174	239456	196456	217568	179621	201903
	100.0%	109.8%	100.0%	110.3%	100.0%	110.7%	100.0%	112.4%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年) (下段は次世代省エネ基準住宅との比較)	3763	4170	3591	3997	2134	2529	3453	3860
	100.0%	110.8%	100.0%	111.3%	100.0%	118.5%	100.0%	111.8%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年) (下段は次世代省エネ基準住宅との比較)	3763	4170	3591	3997	3040	3437	3785	4192
	100.0%	110.8%	100.0%	111.3%	100.0%	113.1%	100.0%	110.8%

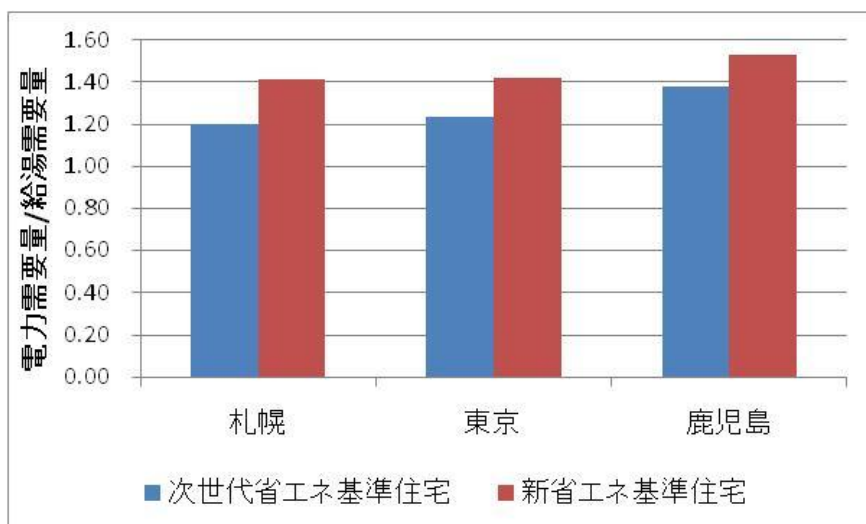


図 4.9 電力需要量と給湯需要量の比(4人世帯)

#### 4.1.4 家庭用燃料電池の運転パターン

世帯構成を「4人世帯」、地域を「東京」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とした需要家の「中間期」を対象として一つの需要家を抽出して家庭用燃料電池の費用最小化運転による運転パターンを考察する。

電力供給量のうち家庭用燃料電池による発電量と系統電力からの買電量を図 4.10 に、給湯需要に対する家庭用燃料電池の貯湯率を図 4.11 に示す。図 4.11 では示せてはいないが、18 時の給湯需要は「湯はり」であり、200 L の給湯需要がある。

給湯需要が最も大きくなる「18 時の湯はり」の前では、給湯需要に合わせて家庭用燃料電池を稼働させる必要があることから 9 時以降の電力需要については家庭用燃料電池による発電で電力需要を満たしている。湯はりによる給湯需要に備えた稼働を行う 9 時以前や湯はり後の 18 時以降では貯湯率の変化があまりないことから、貯湯槽に貯め込むことによって放熱ロスが生じることを防ぐために給湯需要の直前に稼働していることが分かる。このことによって家庭用燃料電池の効率は発電効率 33%、熱回収効率 47% で総合効率が 80% であるのに対して、放熱ロスまで含めた総合効率でも 77.1% と極めて高い総合効率となっている。お湯の作りすぎによる排熱もないことから家庭用燃料電池による費用最小化運転モデルでは放熱ロスといった少しの無駄さえも減らすように経済的にも環境的にも極めて理想的な運転していると言える。

電力供給量に占める家庭用燃料電池による発電量の割合は表 4.9 に示すようになっており、年間では電力供給の約 6 割を家庭用燃料電池による発電で行っている。冷房期が 46.0% であるのに対して、中間期で 64.9%、暖房期に関しては 70.9% を家庭用燃料電池によって電力供給を行っており、給湯需要が多くなることで家庭用燃料電池の稼働割合が高くなることを示している。

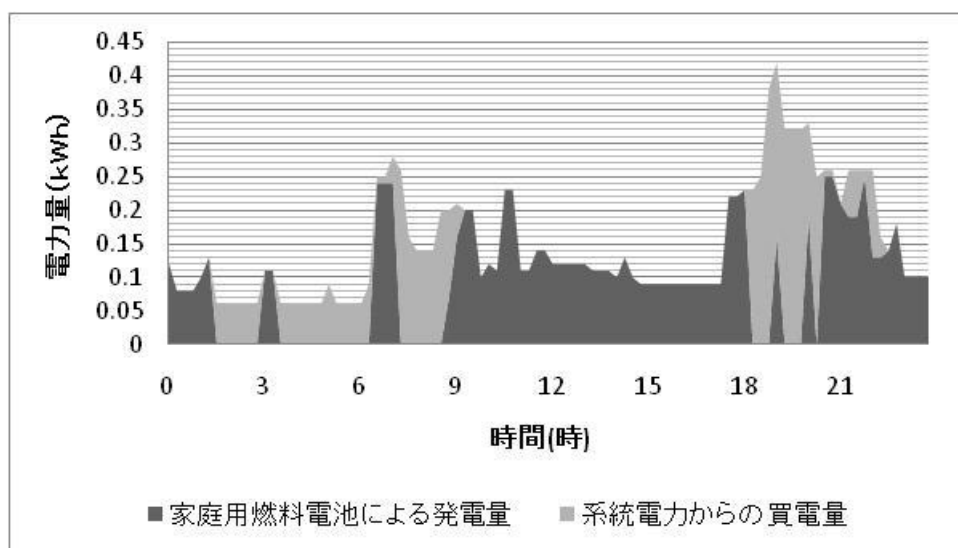


図 4.10 家庭用燃料電池による発電量と系統電力からの買電量

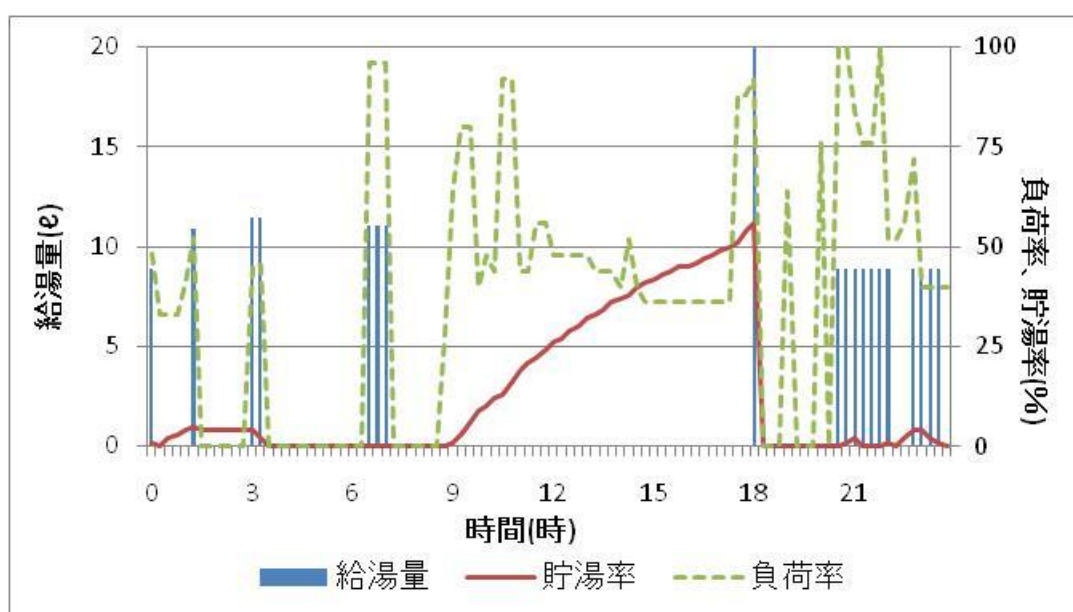


図 4.11 家庭用燃料電池の負荷率と貯湯率の推移

表 4.9 電力供給に占める家庭用燃料電池による発電量の割合

	暖房期	中間期	冷房期	年間
電力供給量に占める 家庭用燃料電池による 発電量の割合	70.9%	64.9%	46.0%	59.6%



#### 4.1.5 HP 給湯器の運転パターン

世帯構成を「4人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とした需要家を対象として HP 給湯器の費用最小化運転による運転パターンを考察する。

地域、時期別の COP を表 4.10 に示す。表 4.10 から HP 給湯器は 99%以上という極めて高い割合で深夜電力を利用して貯湯を行っていることが分かる。深夜電力の利用時間帯が 23 時~7 時であることから家庭用燃料電池と異なり、需要家のお湯の利用時間帯と貯湯時間帯でズレが生じている。特に、給湯のピークである湯はりには 18 時であることからその間の放熱ロスが大きくなってしまう。排熱はないことから HP 給湯器による費用最小化運転モデルではあらかじめ予想された給湯需要に対して、放熱ロスを発生はさせるものより安価な深夜電力で必要な量だけ貯湯を行っていると言える。このため、いずれの地域、時期でも放熱ロスまで含めた給湯器全体としての性能を示す「システム COP」は純粋にお湯を作る性能を示す「HPCOP」に対して 7 割程度にとどまっており、放熱ロスの影響が大きくなっている。HP 給湯器は経済的には極めて優れており、環境的にも排出原単位の小さい深夜電力を有効活用するという点では優れているが、放熱ロスが多くなっている点を踏まえると環境性に優れているとは言い難い側面を有していると言える。

表 4.10 地域、時期別の COP

	暖房期		中間期		冷房期		年間		
	HPCOP	システムCOP	HPCOP	システムCOP	HPCOP	システムCOP	HPCOP	システムCOP	深夜電力比率
札幌	2.09	1.50	2.81	1.98	3.16	2.25	2.32	1.66	99.296%
東京	2.35	1.70	2.81	1.98	3.31	2.39	2.71	1.95	99.813%
鹿児島	2.42	1.77	2.79	1.97	3.36	2.44	2.81	2.03	99.960%

#### 4.1.6 まとめ

暖房手法をエアコンとし、自然エネルギーと同時導入を考えない場合におけるシミュレーション結果について経済性、環境性ともに優れている順に地域別に表 4.11～4.13 にまとめた。世帯構成、住宅断熱基準の違いによって順位に違いが出ることはなかったので地域別にまとめた。

表 4.11 経済性、環境性の順位(札幌)

	札幌			
	コスト	ランニングコスト	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース1)	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース2)
1	HP給湯器	HP給湯器	家庭用燃料電池	家庭用燃料電池
2	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	潜熱回収型給湯器	潜熱回収型給湯器
3	従来型給湯機	潜熱回収型給湯器	HP給湯器	従来型給湯機
4	家庭用燃料電池	従来型給湯機	従来型給湯機	HP給湯器

表 4.12 経済性、環境性の順位(東京)

	東京			
	コスト	ランニングコスト	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース1)	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース2)
1	HP給湯器	HP給湯器	家庭用燃料電池	家庭用燃料電池
2	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯器	潜熱回収型給湯器
3	従来型給湯機	潜熱回収型給湯器	潜熱回収型給湯器	従来型給湯機
4	家庭用燃料電池	従来型給湯機	従来型給湯機	HP給湯器

表 4.13 経済性、環境性の順位(鹿児島)

	鹿児島			
	コスト	ランニングコスト	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース1)	CO <sub>2</sub> 排出量 (ケース2)
1	HP給湯器	HP給湯器	家庭用燃料電池	家庭用燃料電池
2	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯器	潜熱回収型給湯器
3	従来型給湯機	潜熱回収型給湯器	潜熱回収型給湯器	HP給湯器
4	家庭用燃料電池	従来型給湯機	従来型給湯機	従来型給湯機

## 4.2 暖房をエアコンと床暖房とする際の比較

### 4.2.1 暖房を床暖房とする際のシミュレーション結果

本節では暖房手法を床暖房とし、自然エネルギーと同時導入を考えない場合におけるシミュレーション結果を世帯構成・住宅基準別に図 4.12～4.15、表 4.14～4.17 に示す。

まずは経済性の観点から給湯器の比較を行う。総コストで見るといずれの場合についても暖房をエアコンとした時と同様にイニシャルコストの高さが原因となって家庭用燃料電池のコストが際立って高くなっていることが見て取れる。また、潜熱回収型給湯器と HP 給湯器ではほぼ同程度で経済性に優れているという結果が得られた。ランニングコストで見るといずれの場合においても HP 給湯器に関しては従来型給湯器と比較して 75%前後の値を示しており、安価な深夜電力の利用によって優れた経済性を示していると言える。家庭用燃料電池も HP 給湯器には劣るもののランニングコストでは優れた経済性を示している。

次に環境性について給湯器ごとの比較を行う。まずはケース 1 の計算手法に基づく環境性についての考察を行う。暖房をエアコンとした時と比較してばらつきは多少大きくはなっているがいずれの場合についても家庭用燃料電池が従来型給湯器と比較してケース 1 の場合で 57.7～67.9%、ケース 2 の場合で 81.1～85.7%に CO<sub>2</sub>排出量を抑えられ、環境性に優れていると言える。また暖房をエアコンとした時と同様にして HP 給湯器は地域差が大きく深夜電力における排出原単位の低下を考慮したケース 1 の計算手法では 85.8～91.9%と家庭用燃料電池に次ぐ環境性を示しているが、深夜電力と通常電力を同等に扱ったケース 2 の計算手法では 94.6～108.1%となっており、鹿児島など温暖な地域では従来型給湯器と比較して CO<sub>2</sub>排出量削減効果が見られるが、札幌のような寒冷地では CO<sub>2</sub>排出量が増加するという傾向が得られた。潜熱回収型給湯器の場合はガスを利用した高効率給湯器であることから地域差による影響を受けず、従来型給湯器と比較して 10%近い CO<sub>2</sub>排出量削減効果が見られた。これは暖房をエアコンとした時と比較してより大きな値を示しており、暖房を床暖房とすることで給湯需要が増し、給湯器の熱効率の差がより顕著に表れるからである。

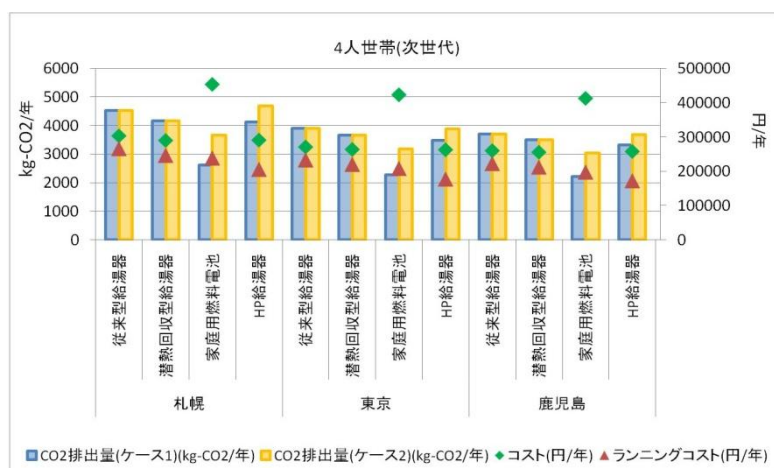


図 4.12 4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

表 4.14 4人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

4人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	303215	289707	454283	290618	270520	263457	423887	262430	259808	255220	413268	257342
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.5%	149.8%	95.8%	100.0%	97.4%	156.7%	97.0%	100.0%	98.2%	159.1%	99.1%
ランニングコスト(円/年)	265215	245706	237783	204618	232520	219457	207387	176430	221807	211219	196768	171340
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	92.6%	89.7%	77.2%	100.0%	94.4%	89.2%	75.9%	100.0%	95.2%	88.7%	77.2%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	4521	4161	2609	4127	3899	3661	2281	3474	3696	3505	2208	3329
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	92.0%	57.7%	91.3%	100.0%	93.9%	58.5%	89.1%	100.0%	94.8%	59.7%	90.1%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	4521	4161	3665	4682	3899	3661	3174	3878	3696	3505	3029	3683
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	92.0%	81.1%	103.6%	100.0%	93.9%	81.4%	99.5%	100.0%	94.8%	82.0%	99.7%

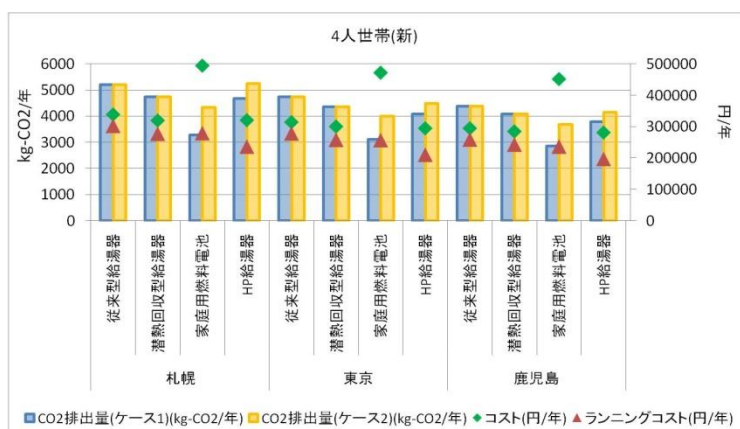


図 4.13 4人世帯・新省エネ基準住宅の結果

表 4.15 4人世帯・新省エネ基準住宅の結果

4人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	339333	320121	494471	321070	314975	300970	472196	295261	295549	285448	451911	281845
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	94.3%	145.7%	94.6%	100.0%	95.6%	149.9%	93.7%	100.0%	96.6%	152.9%	95.4%
ランニングコスト(円/年)	301333	276121	277971	235070	276975	256970	255696	209262	257550	241447	235411	195845
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.6%	92.2%	78.0%	100.0%	92.8%	92.3%	75.6%	100.0%	93.7%	91.4%	76.0%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	5200	4732	3274	4682	4735	4366	3100	4072	4368	4072	2862	3781
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.0%	63.0%	90.0%	100.0%	92.2%	65.5%	86.0%	100.0%	93.2%	65.5%	86.6%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	5200	4732	4332	5237	4735	4366	3997	4478	4368	4072	3688	4137
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.0%	83.3%	100.7%	100.0%	92.2%	84.4%	94.6%	100.0%	93.2%	84.4%	94.7%

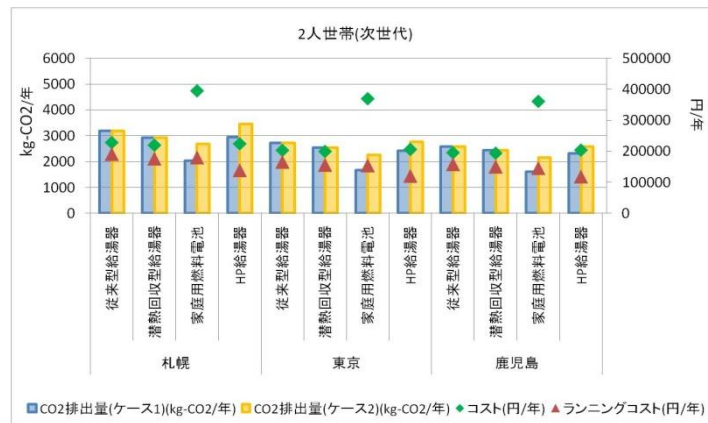


図 4.14 2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

表 4.16 2人世帯・次世代省エネ基準住宅の結果

2人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	228094	219570	395695	224013	202921	199346	370059	205669	195295	193548	361501	203528
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	96.3%	173.5%	98.2%	100.0%	98.2%	182.4%	101.4%	100.0%	99.1%	185.1%	104.2%
ランニングコスト(円/年)	190095	175569	179195	138013	164921	155346	153559	119670	157295	149549	145001	117528
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	92.4%	94.3%	72.6%	100.0%	94.2%	93.1%	72.6%	100.0%	95.1%	92.2%	74.7%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	3197	2927	2024	2936	2723	2549	1673	2429	2580	2439	1599	2309
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.6%	63.3%	91.9%	100.0%	93.6%	61.4%	89.2%	100.0%	94.5%	62.0%	89.5%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	3197	2927	2675	3455	2723	2549	2259	2772	2580	2439	2146	2571
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.6%	83.7%	108.1%	100.0%	93.6%	83.0%	101.8%	100.0%	94.5%	83.2%	99.6%

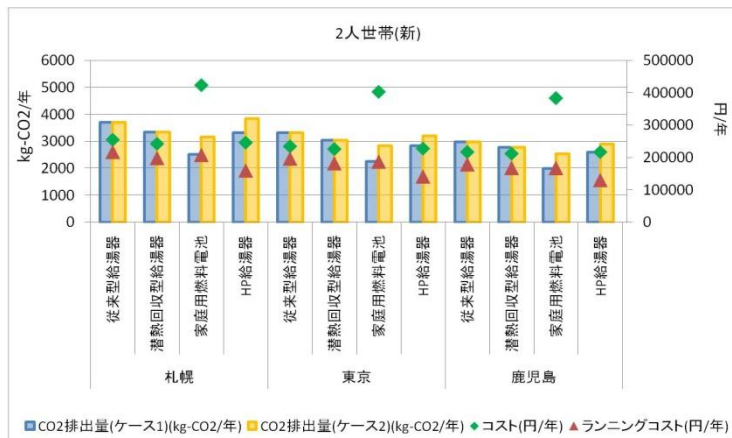


図 4.15 2人世帯・新省エネ基準住宅の結果

表 4.17 2人世帯・新省エネ基準住宅の結果

2人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機	従来型給湯器	潜熱回収型給湯器	家庭用燃料電池	HP給湯機
コスト(円/年)	254513	241815	423772	245392	234010	225580	403088	227064	216257	211277	383606	216142
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	95.0%	166.5%	96.4%	100.0%	96.4%	172.3%	97.0%	100.0%	97.7%	177.4%	99.9%
ランニングコスト(円/年)	216513	197815	207273	159392	196010	181580	186588	141064	178257	167276	167106	130143
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	91.4%	95.7%	73.6%	100.0%	92.6%	95.2%	72.0%	100.0%	93.8%	93.7%	73.0%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	3693	3345	2508	3326	3307	3041	2245	2838	2974	2773	1981	2583
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	90.6%	67.9%	90.0%	100.0%	92.0%	67.9%	85.8%	100.0%	93.2%	66.6%	86.9%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	3693	3345	3162	3844	3307	3041	2834	3196	2974	2773	2530	2885
(下段は従来型給湯機との比較)	100.0%	90.6%	85.6%	104.1%	100.0%	92.0%	85.7%	96.6%	100.0%	93.2%	85.1%	97.0%

#### 4.2.2 エアコンと床暖房の比較

表 4.18～4.21 にエアコンと床暖房の比を指標ごとに示した。表では床暖房の方が優れた値を示している場合には太字で示している。

給湯器別に見ると、従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、HP 給湯器に関しては条件によって差はあるものの経済性、環境性ともに床暖房の方が優れた値を示す場合があるのに対して、家庭用燃料電池に関してはすべての場合において全指標で悪化していることが分かる。これは家庭用燃料電池と床暖房を組み合わせた場合に発電と熱回収率を一定として稼働するコジェネレーションシステムにおいて給湯需要が過多となってしまうことで、給湯需要を満たすためには家庭用燃料電池によって発電量が過多になってでも貯湯を行うか、補助熱源機を使って給湯需要を満たすかのどちらかを選択しなくなってしまう。これによってコジェネレーションシステムの最大のメリットである発電と熱回収率の総合効率の高さが生かされなくなってしまうからである。例えば世帯構成を「4 人世帯」、地域を「東京」、住宅の断熱基準を「次世代省エネ基準」とした場合では電力については 1.6% だけ需要より多く発電しており、また、熱供給量のうちの 4.5% を補助熱源機によって供給している。この影響によって表 4.18 に示すようにエアコンと比較して経済性、環境性ともに悪化していることが分かる。しかし、本研究では考慮してはいないが暖房をエアコンと床暖房を併用することで給湯需要が過多とならない程度に床暖房の利用を留めれば暖房をエアコンのみの場合と比較して給湯需要割合が上がることでコジェネレーションの強みが発揮できる可能性はあると考えられる。

世帯構成の影響については 4 人世帯と 2 人世帯で同様の傾向を示しており、あまり見受けられない。

住宅の断熱基準に関しては札幌においては次世代省エネ基準住宅では床暖房との相性が良く、新省エネ基準住宅についてもエアコンと床暖房がほぼ同等である。他の 2 地域に関しては次世代住宅に関してはエアコンと床暖房で大きな差はないが、新世代省エネ基準住宅については大きな差が発生している。これは第 2 章の表 2.9 で示したように熱供給のうちロスとなる「床下へ逃げる熱の割合」が札幌では次世代省エネ基準住宅、新省エネ基準住宅でそれぞれ 4%、6% であるのに対して東京では 6%、13%、鹿児島では 6%、19% と新省エネ基準住宅においてロスが大きくなるからである。この影響から新省エネ基準住宅に関しては床暖房よりエアコンの方が経済性、環境性ともに優れた値を示した。

表 4.18 エアコンと床暖房の比較(4人世帯、次世代省エネ基準住宅)

4人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機
コスト												
ランニングコスト	<b>99.1%</b>	<b>97.6%</b>	101.5%	101.7%	102.8%	102.8%	102.6%	106.8%	102.1%	102.7%	101.4%	107.1%
CO2排出量(ケース1)	<b>99.8%</b>	<b>96.3%</b>	103.5%	<b>95.5%</b>	103.6%	101.9%	106.9%	100.6%	102.4%	101.3%	102.2%	100.6%
CO2排出量(ケース2)	<b>99.8%</b>	<b>96.3%</b>	100.5%	<b>97.5%</b>	103.6%	101.9%	104.4%	102.5%	102.4%	101.3%	102.3%	102.5%

表 4.19 エアコンと床暖房の比較(4人世帯、新省エネ基準住宅)

4人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機
コスト	100.7%	<b>97.6%</b>	103.4%	101.3%	110.4%	108.1%	108.8%	110.2%	109.4%	107.9%	106.9%	110.0%
ランニングコスト	100.1%	<b>95.6%</b>	106.3%	<b>93.7%</b>	111.1%	107.3%	117.5%	103.6%	110.0%	107.1%	114.1%	103.0%
CO2排出量(ケース1)	102.0%	<b>96.8%</b>	106.0%	<b>95.7%</b>	113.5%	109.2%	122.6%	105.5%	112.0%	108.7%	117.2%	105.1%
CO2排出量(ケース2)	102.0%	<b>96.8%</b>	102.9%	<b>97.5%</b>	113.5%	109.2%	116.3%	106.8%	112.0%	108.7%	113.6%	106.6%

表 4.20 エアコンと床暖房の比較(2人世帯、次世代省エネ基準住宅)

2人世帯(次世代)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機
コスト	<b>99.6%</b>	<b>98.4%</b>	102.5%	101.9%	103.2%	103.6%	102.7%	108.5%	102.4%	103.4%	101.4%	109.4%
ランニングコスト	<b>98.5%</b>	<b>95.4%</b>	105.7%	<b>89.7%</b>	102.6%	101.2%	106.7%	<b>96.8%</b>	101.7%	100.9%	103.6%	<b>97.9%</b>
CO2排出量(ケース1)	<b>99.8%</b>	<b>96.1%</b>	114.5%	<b>96.1%</b>	103.7%	102.0%	111.6%	101.2%	102.4%	101.4%	105.6%	100.4%
CO2排出量(ケース2)	<b>99.8%</b>	<b>96.1%</b>	103.3%	101.1%	103.7%	102.0%	105.7%	104.7%	102.4%	101.4%	103.1%	102.4%

表 4.21 エアコンと床暖房の比較(2人世帯、新省エネ基準住宅)

2人世帯(新)	札幌				東京				鹿児島			
	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機	従来型 給湯器	潜熱回収型 給湯器	家庭用 燃料電池	HP給湯機
コスト	101.0%	<b>98.3%</b>	104.0%	101.1%	110.2%	108.4%	107.8%	110.6%	107.1%	106.4%	104.8%	109.5%
ランニングコスト	100.3%	<b>95.6%</b>	108.6%	<b>90.2%</b>	111.2%	107.4%	118.6%	101.3%	107.4%	104.9%	111.7%	<b>99.1%</b>
CO2排出量(ケース1)	102.0%	<b>96.5%</b>	115.2%	<b>95.7%</b>	113.6%	109.3%	129.6%	105.7%	109.1%	106.1%	117.8%	103.1%
CO2排出量(ケース2)	102.0%	<b>96.5%</b>	105.6%	100.3%	113.6%	109.3%	118.2%	109.0%	109.1%	106.1%	111.5%	106.3%

## 4.3 自然エネルギーと組み合わせたシミュレーション評価

本節では各給湯機に自然エネルギーとして太陽光発電、太陽熱温水器を導入した際に経済性、環境性に与える影響についての評価を行う。暖房手法についてはエアコンのみを考慮する。

### 4.3.1 太陽光発電

世帯構成を「4人世帯」、地域を「東京」、住宅の断熱基準を「新省エネ基準住宅」を対象の需要家として太陽光発電の導入における考察を行う。シミュレーションを行った結果を図 4.16、表 4.22 に示す。

経済性については、総コストを見ると、太陽光発電の導入によって従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池についてはコストの削減効果がある。HP 給湯器についてもコスト削減こそできていないものの同等程度であり、太陽光発電の導入は現状のインシャルコストであっても経済性に優れていると言える。ランニングコストで見ると余剰電力の売却益によって全ての給湯器において太陽光発電導入によるコスト削減効果が大きくなっていることが分かる。特に家庭用燃料電池において太陽光発電導入によって導入前と比較して 48.2%とコスト削減効果が極めて大きくなっている。これは図 4.17 で示すように他の給湯器と比較して太陽光発電の余剰電力の売却益が大きくなっているからである。太陽光発電の売電単価が他の給湯器が 48 円/kWh であるのに対して、家庭用燃料電池が 39 円/kWh と低くなるのにもかかわらず、家庭用燃料電池で余剰電力の売却益が大きくなるのは家庭の電力需要を家庭用燃料電池による発電で満たし、太陽光発電の余剰電力量が多くなることが原因である。図 4.18、4.19 に中間期において一つの需要家を抽出し、電力需給構造を示した。電力需要量より上側の部分が売電の対象となる余剰電力である。図 4.18 に示したように従来型給湯器の場合は昼間の電力需要のほとんどを太陽光発電によって満たしており、系統電力からの買電量を減らすことで電力料金を抑えているが、その分、売電量自体は少なくなっている。家庭用燃料電池の場合は図 4.19 に示したように家庭用燃料電池によって家庭の電力需要のほとんどを満たしている。これによって太陽光発電による発電量のほとんどは余剰電力となり売電されることとなる。系統電力の買電価格は 17.87~24.13 円/kWh であることと比較して太陽光発電の余剰電力の売電価格は家庭用燃料電池の場合でも 39 円/kWh と高くなるので売電量が多くなることの方が経済的なメリットは大きいと言える。このことから家庭用燃料電池ではランニングコストを大きく削減できている。

環境性については太陽光発電の導入によりいずれの場合も CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が大きく、全ての給湯器においても環境面にメリットをもたらすと言える。給湯器別に見ていくと従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、HP 給湯器については太陽光発電導入前と比較して



CO<sub>2</sub>排出量がケース 1 では 50%強、ケース 2 では 70%強となっている。これはケース 1、ケース 2 とともに太陽光発電により系統電力からの買電量を減らせることと余剰電力の逆潮流により系統での発電量自体が減らせることの影響によるものである。この影響に加えて、ケース 1 の場合には太陽光発電の自家発電によって火力代替効果が大きくなり、CO<sub>2</sub>排出量の削減が促進されることでさらなる CO<sub>2</sub>排出量削減効果を生む。家庭用燃料電池に関しては太陽光発電導入前と比較して CO<sub>2</sub>排出量はケース 1 で 24.9%、ケース 2 で 67.3%であり、他の給湯器と比較しても CO<sub>2</sub>排出量の削減効果が大きくなっている。これは図 4.19 に示したように家庭用燃料電池で発電を行うことによって、他の給湯器よりも余剰電力の逆潮流によって系統での発電量を多く減らせるからである。さらに、ケース 1 では家庭用燃料電池と太陽光発電の 2 つの自家発電によって火力代替効果が極めて大きくなることで CO<sub>2</sub>排出量を大きく減らすことができる。

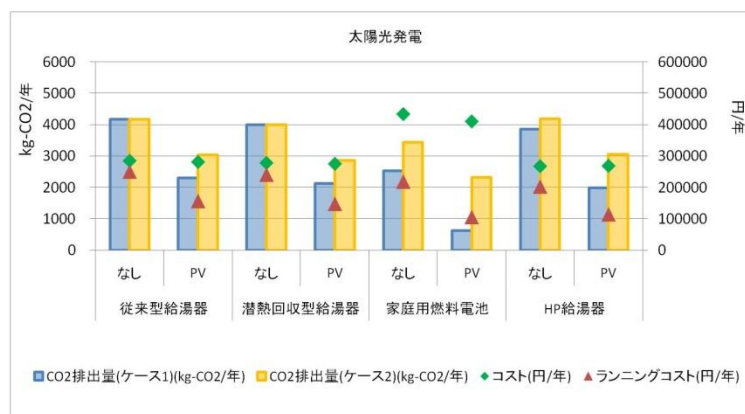


図 4.16 太陽光発電導入における結果(東京)

表 4.22 太陽光発電導入における結果(東京)

	従来型給湯器		潜熱回収型給湯器		家庭用燃料電池		HP給湯器	
	なし	PV	なし	PV	なし	PV	なし	PV
コスト(円/年)	285318	281582	278457	275491	434068	410862	267902	269048
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	98.7%	100.0%	98.9%	100.0%	94.7%	100.0%	100.4%
ランニングコスト(円/年)	249318	156083	239456	146993	217568	104862	201903	113549
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	62.6%	100.0%	61.4%	100.0%	48.2%	100.0%	56.2%
CO <sub>2</sub> 排出量(ケース1)(kg-CO <sub>2</sub> /年)	4170	2292	3997	2120	2529	631	3860	1983
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	55.0%	100.0%	53.0%	100.0%	24.9%	100.0%	51.4%
CO <sub>2</sub> 排出量(ケース2)(kg-CO <sub>2</sub> /年)	4170	3030	3997	2857	3437	2311	4192	3053
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	72.7%	100.0%	71.5%	100.0%	67.3%	100.0%	72.8%

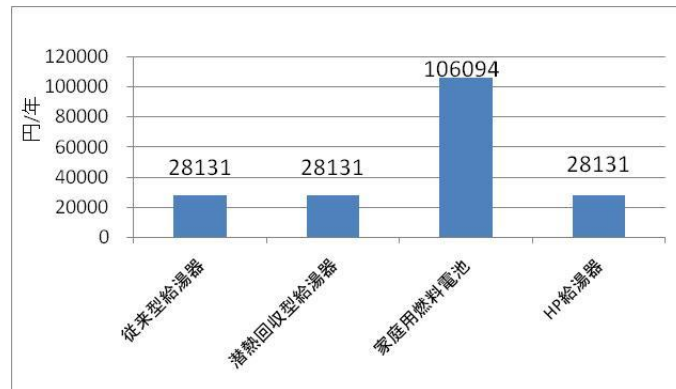


図 4.17 太陽光発電の余剰電力の売却益

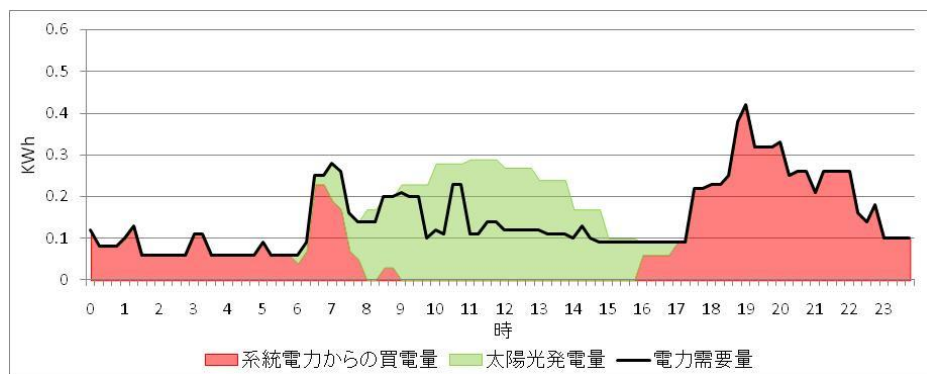


図 4.18 電力需給構造(従来型給湯器)

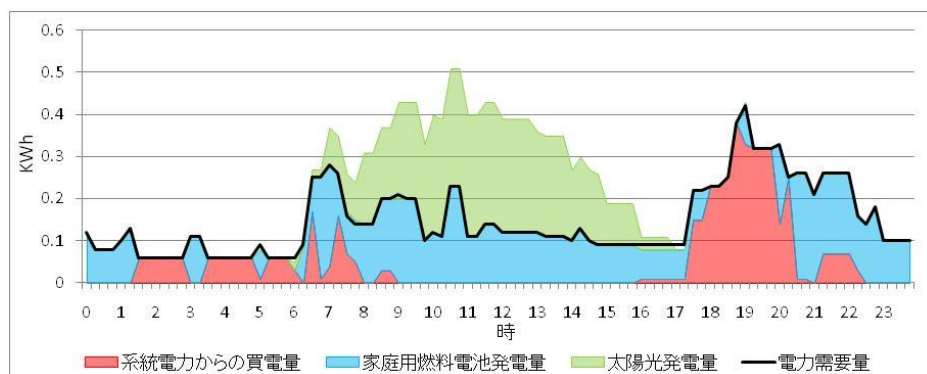


図 4.19 電力需給構造(家庭用燃料電池)

### 4.3.2 太陽熱温水器

世帯構成を「4人世帯」、地域を「東京」、住宅の断熱基準を「新省エネ基準住宅」を対象の需要家として太陽熱温水器の導入における考察を行う。シミュレーションを行った結果を図 4.20、表 4.23 に示す。

経済性については総コストを見ると、太陽熱温水器の導入によって従来型給湯器、潜熱回収型給湯器については1%前後と僅かではあるがコストの削減効果があるのに対して、家庭用燃料電池と HP 給湯器についてはそれぞれ導入前と比較して 102.0%、103.9%とコストが増加してしまう。しかし、ランニングコストで見ると全ての給湯器においてコストは削減されていることから、太陽熱温水器のイニシャルコスト次第では家庭用燃料電池、HP 給湯器についても経済性にメリットが生まれる可能性があると言える。

環境性については従来型給湯器、潜熱回収型給湯器に関しては太陽熱温水器導入によって CO<sub>2</sub> 排出量がケース 1、ケース 2 とともに 10%弱削減できており経済性と同様に環境性においても太陽熱温水器導入のメリットはあると言える。HP 給湯器に関しても太陽熱温水器導入前と比較して CO<sub>2</sub> 排出量がケース 1 で 93.8%、ケース 2 で 91.9%とケース 1 で若干削減率が減少するものの環境性に優れていると言える。これに対して家庭用燃料電池においては CO<sub>2</sub> 排出量がケース 2 では 96.6%と削減できているもののケース 1 については 106.7%と増加していることから環境性については優れているとは言い難い結果となった。このように家庭用燃料電池、HP 給湯器においてケース 1 で求められる CO<sub>2</sub> 排出量について多くなってしまうのは図 4.21 に示したように太陽熱温水器の導入によって家庭用燃料電池、HP 給湯器の稼働量自体が減ってしまうことに起因する。家庭用燃料電池については給湯需要の割合が減ってしまうことで系統からの買電量が増えてしまい、コジェネレーションのメリットが薄れてしまう。特に、自家発電による火力代替の効果が弱くなってしまうことでケース 1 では CO<sub>2</sub> 排出量が増加することになる。HP 給湯器に関しては CO<sub>2</sub> 排出原単位の低い深夜電力の利用量が減ってしまうことからケース 1 の場合はケース 2 と比較して削減率が悪くなってしまう。しかし、HP 給湯器と太陽熱温水器との同時導入は環境面ではこの影響があっても優位性を示してはいる。これに対して、経済面では安価な深夜電力利用が減ってしまうことによる影響は大きく、ランニングコストは減らせるもののイニシャルコスト分の増加分を相殺することはできず、総コストで上昇するという結果につながっている。

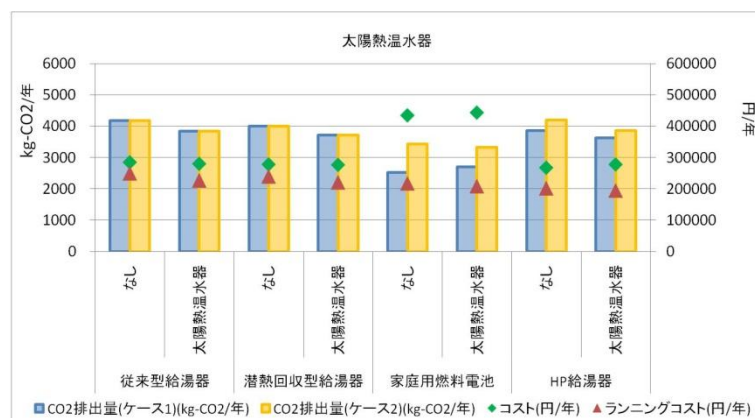


図 4.20 太陽熱温水器導入における結果(東京)

表 4.23 太陽熱温水器導入における結果(東京)

	従来型給湯器		潜熱回収型給湯器		家庭用燃料電池		HP給湯器	
	なし	太陽熱温水器	なし	太陽熱温水器	なし	太陽熱温水器	なし	太陽熱温水器
コスト(円/年)	285318	280378	278457	277059	434068	442729	267902	278260
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	98.3%	100.0%	99.5%	100.0%	102.0%	100.0%	103.9%
ランニングコスト(円/年)	249318	226878	239456	220558	217568	208729	201903	194759
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	91.0%	100.0%	92.1%	100.0%	95.9%	100.0%	96.5%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	4170	3838	3997	3719	2529	2698	3860	3621
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	92.0%	100.0%	93.0%	100.0%	106.7%	100.0%	93.8%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	4170	3838	3997	3719	3437	3319	4192	3853
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	92.0%	100.0%	93.0%	100.0%	96.6%	100.0%	91.9%

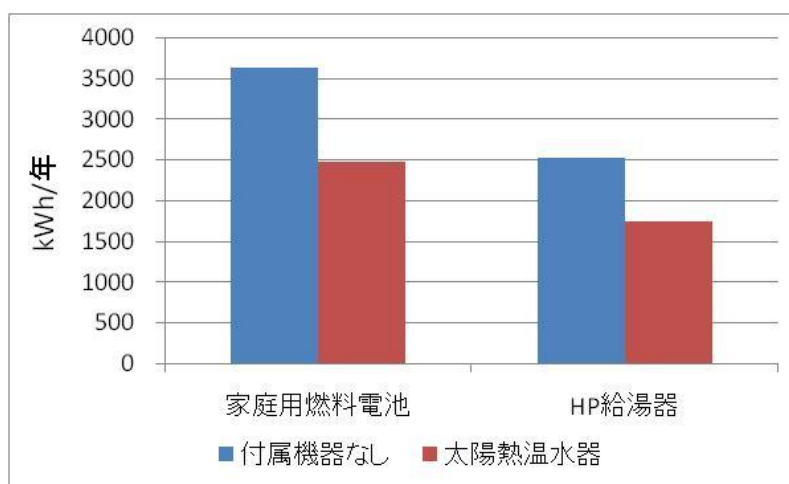


図 4.21 家庭用燃料電池による発電量と HP 給湯器の使用電力量

4.3.3 地域差比較

世帯構成を「4人世帯」、住宅の断熱基準を「新省エネ基準住宅」を対象の需要家として自然エネルギーの導入における効果についての地域差の考察を行う。札幌と鹿児島についてシミュレーションを行った結果を図 4.22、4.23、表 4.24、4.25 に示す。

「札幌」で給湯器を「家庭用燃料電池」とした場合に「太陽熱温水器」を組み合わせる場合を除いた全ての場合について、自然エネルギーの導入によって札幌については東京より経済性、環境性が悪化する割合が大きく、鹿児島については東京より経済性、環境性が良化する割合が大きいという結果が得られた。これは図 4.24 に示す通り、自然エネルギーから得られるエネルギーが鹿児島、東京、札幌の順に大きくなるからである。

唯一の例外ケースとなった札幌で家庭用燃料電池と太陽熱温水器を組み合わせるケースについては札幌が寒冷地であることから給湯需要は他の地域と比較して大きなものである。そのため太陽熱温水器を利用しても家庭用燃料電池によるコジェネレーションのメリットが失われにくいからである。しかし、それでも同地域で太陽熱温水器導入前と比較した経済性、環境性における傾向は東京と同様であり、家庭用燃料電池と太陽熱温水器の同時導入は札幌においても経済性、環境性の両面から好ましいとは決して言えない。

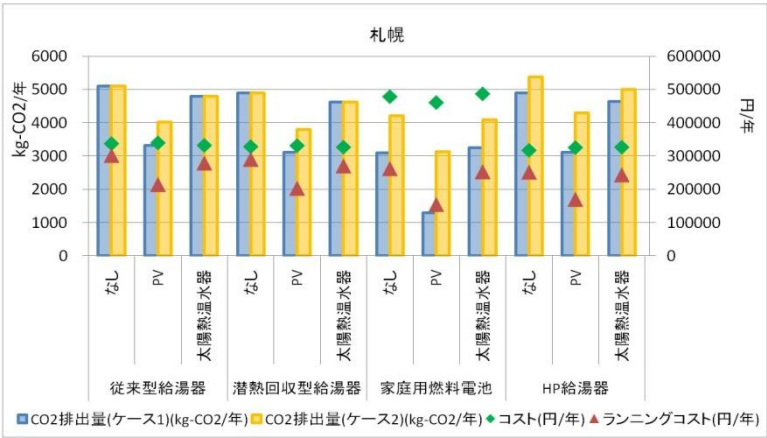


図 4.22 自然エネルギー導入における結果(札幌)

表 4.24 自然エネルギー導入における結果(札幌)

	従来型給湯器			潜熱回収型給湯器			家庭用燃料電池			HP給湯器		
	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器
コスト(円/年)	337012	339210	331815	327889	331033	326276	478008	460255	486471	316876	325072	326352
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	100.7%	98.5%	100.0%	101.0%	99.5%	100.0%	96.3%	101.8%	100.0%	102.6%	103.0%
ランニングコスト(円/年)	301012	213709	278314	288888	202534	269774	261509	154255	252471	250876	169571	242851
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	71.0%	92.5%	100.0%	70.1%	93.4%	100.0%	59.0%	96.5%	100.0%	67.6%	96.8%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	5099	3314	4785	4889	3104	4624	3090	1292	3241	4892	3108	4630
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	65.0%	93.8%	100.0%	63.5%	94.6%	100.0%	41.8%	104.9%	100.0%	63.5%	94.6%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	5099	4016	4785	4889	3804	4624	4210	3132	4091	5372	4287	4999
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	78.8%	93.8%	100.0%	77.8%	94.6%	100.0%	74.4%	97.2%	100.0%	79.8%	93.1%

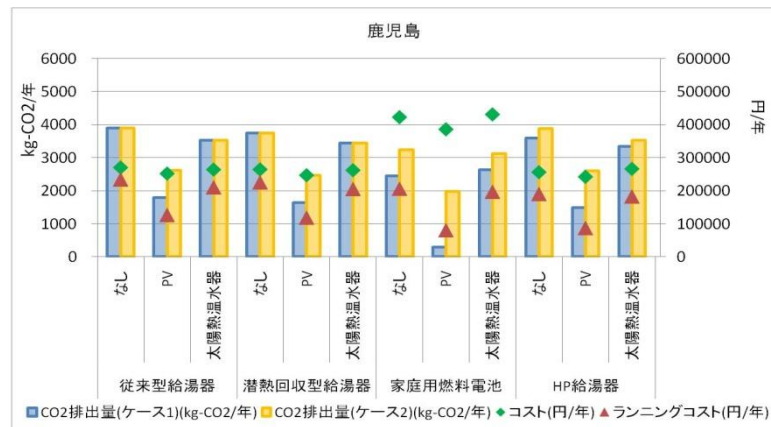


図 4.23 自然エネルギー導入における結果(鹿児島)

表 4.25 自然エネルギー導入における結果(鹿児島)

	従来型給湯器			潜熱回収型給湯器			家庭用燃料電池			HP給湯器		
	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器
コスト(円/年)	270224	251951	264018	264473	246884	262009	422769	386060	431062	256122	242183	266121
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	93.2%	97.7%	100.0%	93.3%	99.1%	100.0%	91.3%	102.0%	100.0%	94.6%	103.9%
ランニングコスト(円/年)	234224	126451	210518	225473	118384	205509	206269	80059	197061	190122	86682	182621
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	54.0%	89.9%	100.0%	52.5%	91.1%	100.0%	38.8%	95.5%	100.0%	45.6%	96.1%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	3900	1788	3535	3747	1635	3439	2442	296	2634	3598	1487	3346
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	45.8%	90.6%	100.0%	43.6%	91.8%	100.0%	12.1%	107.9%	100.0%	41.3%	93.0%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	3900	2617	3535	3747	2464	3439	3245	1984	3122	3882	2600	3522
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	67.1%	90.6%	100.0%	65.8%	91.8%	100.0%	61.1%	96.2%	100.0%	67.0%	90.7%

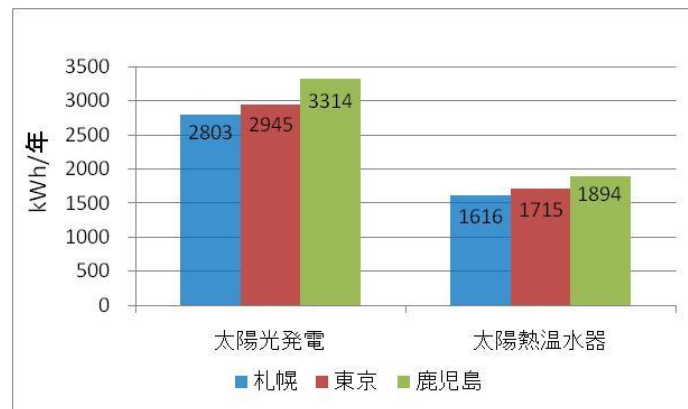


図 4.24 太陽光発電量と太陽熱集熱量

#### 4.3.4 世帯構成比較

地域を「東京」、住宅の断熱基準を「新省エネ基準住宅」を対象の需要家として給湯器を「従来型給湯器」とした場合の自然エネルギーの導入における効果についての世帯構成の差が与える影響を考察する。シミュレーションを行った結果を図 4.25、表 4.26 に示す。

まず太陽光発電についての考察を行う。経済性で見るとランニングコストについては付属機器なしの場合と比較して 4 人世帯で 62.6%、2 人世帯で 43.4%と 2 人世帯の方が大きな削減効果がある。本研究のシミュレーションにおいて太陽光発電の導入に関しては世帯構成によらず、一定の容量に設定したことから家庭の電力需要が少なくなる 2 人世帯において系統からの買電量が減ることに加えて、余剰電力が増えることで余剰電力の年間の売却利益が 4 人世帯では 35195 円となるのに対して 53297 円と大きくなることが影響している。それに対して総コストで見ると付属機器なしの場合では 4 人世帯で 98.7%、2 人世帯で 95.1%と大きな差はない。総コストのうち太陽光発電の初期コストが高いことからランニングコストによる削減効果が打ち消されてしまうためである。続いて環境性についても付属機器なしの時と比較して CO<sub>2</sub> 排出量についてはケース 1 では 4 人世帯で 55.0%、2 人世帯で 35.5%、ケース 2 では 4 人世帯で 72.7%、2 人世帯で 60.8%であり、経済性と同様に環境性についても 2 人世帯の方が大きな削減効果があった。図 4.26 に示したように系統からの買電割合が 4 人世帯では 68%、2 人世帯では 62%と減ることと余剰電力の逆潮流によって系統での発電量自体を減らせる量が多いことが大きな要因となっている。

太陽熱温水器についても太陽熱温水器の導入による経済性、環境性の削減効果は 2 人世帯の方が大きくなっている。これは給湯需要量が 4 人世帯より 2 人世帯の方が少なくなっていることで太陽熱温水器導入前と比較して給湯需要の供給割合のうちのガス利用量の割合が 4 人世帯では 69%、2 人世帯で 59%と 2 人世帯の方が自然エネルギーの利用割合が高くなっているからである。

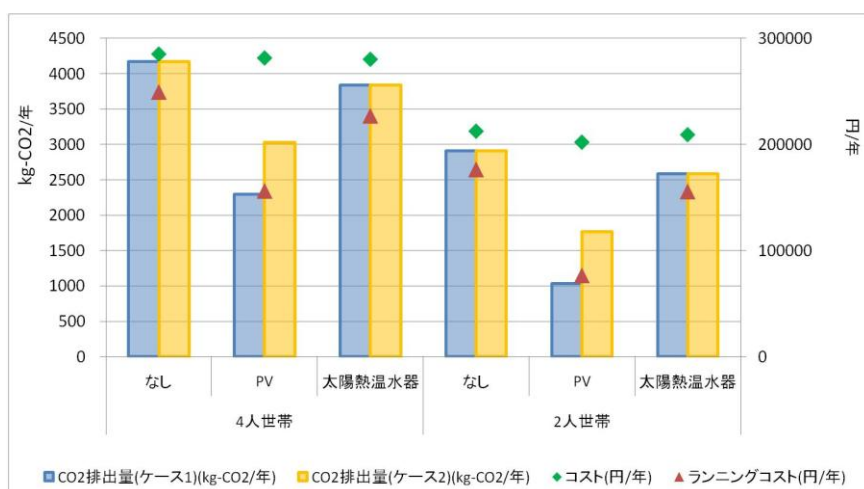


図 4.25 自然エネルギー導入における世帯構成比較

表 4.26 自然エネルギー導入における世帯構成比較

	4人世帯			2人世帯		
	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器
コスト(円/年)	285318	281582	280378	212331	201960	209031
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	98.7%	98.3%	100.0%	95.1%	98.4%
ランニングコスト(円/年)	249318	156083	226878	176331	76460	155530
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	62.6%	91.0%	100.0%	43.4%	88.2%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年)	4170	2292	3838	2911	1033	2585
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	55.0%	92.0%	100.0%	35.5%	88.8%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年)	4170	3030	3838	2911	1770	2585
(下段は付属機器なしとの比較)	100.0%	72.7%	92.0%	100.0%	60.8%	88.8%

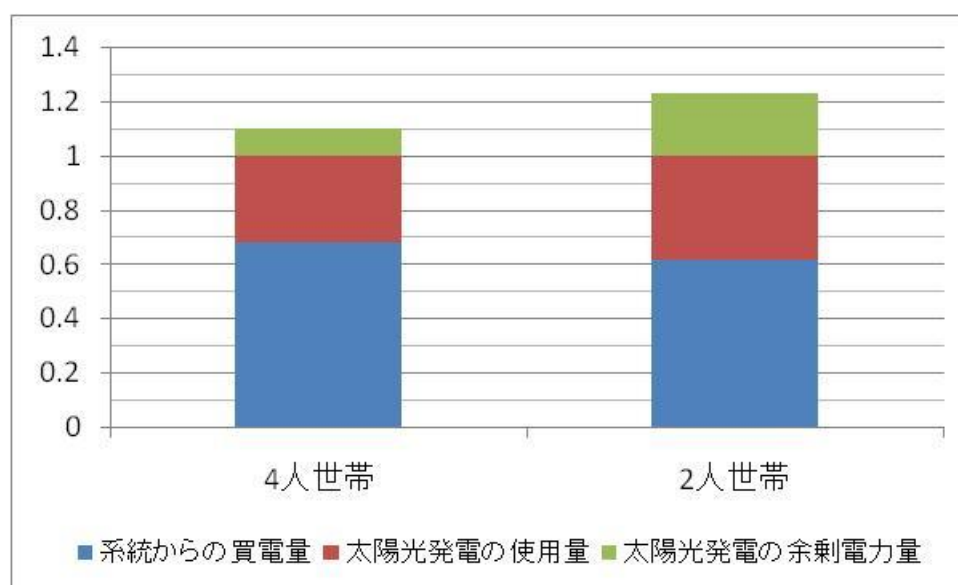


図 4.26 電力需要に対する各電力量の比



### 4.3.5 住宅の断熱基準の比較

地域を「東京」、世帯構成を「4人世帯」を対象の需要家として給湯器を「従来型給湯器」とした場合の自然エネルギーの導入における効果についての住宅の断熱基準の差が与える影響を考察する。シミュレーションを行った結果を図 4.27、表 4.27 に示す。

まず太陽光発電についての考察を行う。経済性で見るとランニングコストについては付属機器なしの場合と比較して次世代省エネ基準住宅で 57.7%、新省エネ基準住宅で 62.6% となっており、次世代省エネ基準住宅の方が大きな削減効果がある。この影響によって総コストで見た場合でも若干ではあるが次世代省エネ基準住宅の方が太陽光発電においてコスト削減できる。世帯構成に与える影響と同様に電力需要が少なくなる次世代省エネ基準住宅では系統からの買電量が減ることに加えて、余剰電力量が多くなり、余剰電力の年間の売却利益が 40875 円と新省エネ基準住宅の 35195 円となることが経済性で優位となる要因である。続いて環境性についても付属機器なしの時と比較して CO<sub>2</sub> 排出量についてはケース 1 では次世代省エネ基準住宅で 50.1%、新省エネ基準住宅で 55.0%、ケース 2 では次世代省エネ基準住宅で 69.7%、新省エネ基準住宅で 72.7%であり、経済性と同様に環境性についても次世代省エネ基準住宅の方が大きな削減効果があった。世帯構成の違いが与える影響と同様に系統からの買電割合が次世代省エネ基準住宅で 62%、新省エネ基準住宅で 68%となっていることに加えて余剰電力の逆流によって系統での発電量自体を減らせる量が多いことが大きな要因となっている。

太陽熱温水器についても太陽熱温水器の導入による経済性、環境性の削減効果については給湯需要が同量であることから住宅の断熱基準によらず、両方とも同じ量だけ削減効果がある。これは太陽熱温水器の効果は電力需要によらず、給湯需要量のみ依存するからである。

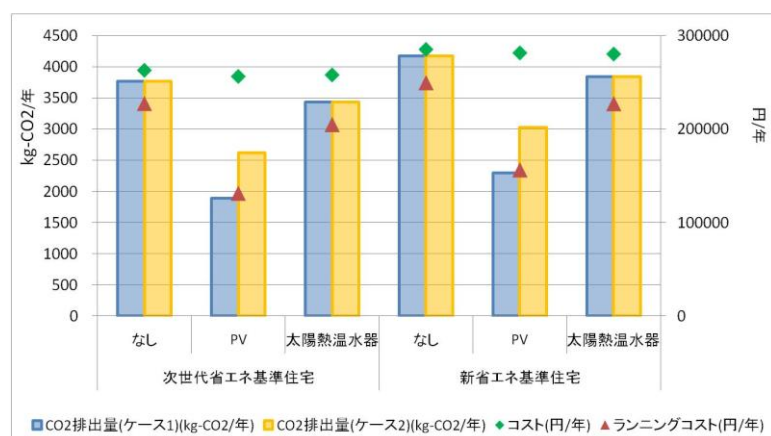


図 4.27 自然エネルギー導入における住宅の断熱基準の比較

表 4.27 自然エネルギー導入における住宅の断熱基準の比較

	次世代省エネ基準住宅			新省エネ基準住宅		
	なし	PV	太陽熱温水器	なし	PV	太陽熱温水器
コスト(円/年) (下段は付属機器なしとの比較)	263036 100.0%	256484 97.5%	258097 98.1%	285318 100.0%	281582 98.7%	280378 98.3%
ランニングコスト(円/年) (下段は付属機器なしとの比較)	227036 100.0%	130984 57.7%	204596 90.1%	249318 100.0%	156083 62.6%	226878 91.0%
CO2排出量(ケース1)(kg-CO2/年) (下段は付属機器なしとの比較)	3763 100.0%	1886 50.1%	3431 91.2%	4170 100.0%	2292 55.0%	3838 92.0%
CO2排出量(ケース2)(kg-CO2/年) (下段は付属機器なしとの比較)	3763 100.0%	2624 69.7%	3431 91.2%	4170 100.0%	3030 72.7%	3838 92.0%

## 4.4 まとめ

第 4 章においては世帯構成や地域など様々な需要家を対象として現状のシステム評価を行い、さらに暖房としてはエアコンと床暖房を考慮、また自然エネルギー機器の導入効果を示すなど現状のシステム評価をより多面的に行った。

4.1 節では全ての需要家に対して各給湯器の経済性、環境性のシステム評価を行った。このことによって経済性においては HP 給湯器が優れていることが示され、環境性においては家庭用燃料電池が優れていることが示された。また、地域別で見ると寒冷な気候が影響して HP 給湯器の HPCOP が低下してしまう札幌では HP 給湯器の経済性、環境性が悪化するという結果が示された。住宅の断熱基準の比較からは家庭用燃料電池が給湯需要の割合が高くなる場合に家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが十分に発揮され、経済性、環境性が良化するということが示された。そして、最後に費用最小化運転モデルによる家庭用燃料電池と HP 給湯器の稼働形態を解析した。

4.2 節では暖房をエアコンとした場合と床暖房とした場合を比較し、どのような条件下で床暖房が優位性を示すかを示した。

4.3 節では自然エネルギー機器の導入効果を検証した。太陽光発電についてはいずれの給湯器と組み合わせても CO<sub>2</sub> 排出量が大きく削減されるという結果が得られた。特に家庭用燃料電池については CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が大きく、経済性についてもコストが大きく削減されることが示された。太陽熱温水器については、いずれの給湯器と組み合わせた場合でも CO<sub>2</sub> 排出量は削減されているが家庭用燃料電池に関しては太陽光発電とは逆に、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が他の給湯器と組み合わせた際よりも小さくなった。これは家庭用燃料電池に太陽熱温水器を組み合わせることで家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが十分に活かされないためである。

このように第 4 章では現状におけるシステム評価を多面的に行った。続く第 5 章では中長期的なシステム評価について行う。

## 第5章 中長期的な視点によるシステム評価

### 5.1 中長期的な視点によるシステム評価の必要性

CO<sub>2</sub> 排出量の削減を考えるには現時点での一時的な削減効果に言及するだけではなく、エネルギー機器の効率向上や系統電力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善などを考慮して中長期的な削減効果の評価が大事である。

家庭用エネルギー機器に関しては、ガス給湯器は従来型給湯器から潜熱回収型給湯器へと技術向上が進んだことで熱効率が 80%から 95%へと向上した。コジェネレーションシステムについてもガスエンジンによるものから固体高分子形燃料電池(PEFC)によるものが実用化されたことで発電効率は HHV 基準で 20%前半から 30%前半へと大きく向上した。また、さらに高い発電効率を誇る固体酸化物形燃焼電池(SOFC)についても実用化に向けて研究されている。このように家庭用エネルギー機器は現時点においても性能は着実に向上してきており、今後、資源・環境の制約が強くなっていくことで更なる機器の性能向上が期待できる。そこで本節では家庭用エネルギー機器の効率の変化における感度分析を行う。

また、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位については図 5.1<sup>[17]</sup>に示したように 1970 年から大きく低下している。さらに東京電力では原子力発電の拡大や再生可能エネルギーの系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を 2020 年度までに 0.28kg-CO<sub>2</sub>/kWh まで下げることが目標としている<sup>[24]</sup>。ガスについてもバイオガスの普及などによって CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善の可能性は大いにあると言える。このように中長期的な視点では系統電力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善が考えられることから CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による感度分析を行う。

本章におけるシステム評価であるが、家庭用エネルギー機器の効率の感度分析においては機器の性能向上がイニシャルコストに与える影響を定量的に評価するのが困難であることからランニングコストのみ評価を行う。系統電力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善における感度分析については系統側の技術向上の際にエネルギー単価に与える影響を定量的に評価することが困難であることから経済性の評価は行わないこととした。また、環境性については中長期的なエネルギー供給を考慮すると自家発電による代替電源は全電源平均とする方が、通常電力と深夜電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の区別をしない方がより現実的である。そこで本節ではどちらの種類の感度分析においても CO<sub>2</sub> 排出量はケース 2 の計算手法によって行う。

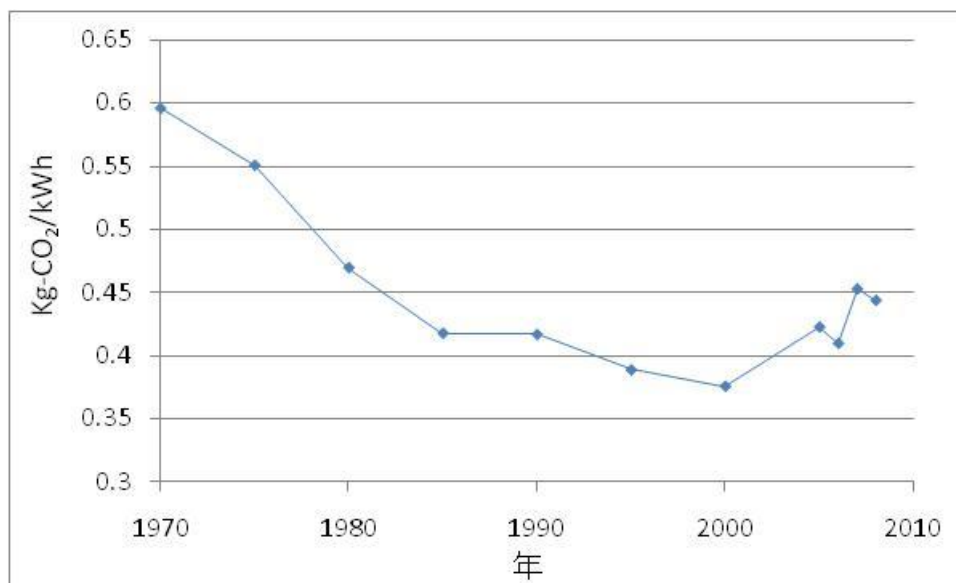


図 5.1 系統電力の CO<sub>2</sub>排出原単位の推移<sup>[17]</sup>

## 5.2 貯湯槽の放熱率の感度分析

本節では貯湯槽の放熱率の改善による感度分析を行う。対象とする給湯器は家庭用燃料電池と HP 給湯器の 2 つである。今回、地域を「東京」、世帯構成を「4 人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とした需要家を分析の対象として用いることにした。機器の性能の向上に合わせてイニシャルコストは大きく変化する可能性がある。そのため、本節では経済性の評価はランニングコストのみとした。

### 5.2.1 家庭用燃料電池

家庭用燃料電池の放熱率の感度分析の結果を図 5.2、表 5.1 に示した。1 時間当たりの放熱ロスを現状の 3%から 0%まで減らすことでランニングコストが 98.8%となり、放熱ロスが減ることで、僅かではあるが経済性に好影響を与える。環境性に関しても、現状と比較して 98.9%と僅かながら CO<sub>2</sub>排出量の削減効果があるという結果が得られた。費用最小化運転モデルにおいて、家庭用燃料電池は給湯需要に近い時間帯で稼働することから貯湯槽にお湯を貯める時間は比較的短くなる。このことによって放熱ロスが完全になくなったとしても経済性、環境性に与える影響は少なくなってしまう。放熱ロスがないと仮定した場合の総合効率は発電効率 33%、熱回収率 47%を合わせた 80%であるが、放熱ロスが 1 時間当たり 3%と設定した現状でも総合効率 75%と高い効率を示している。

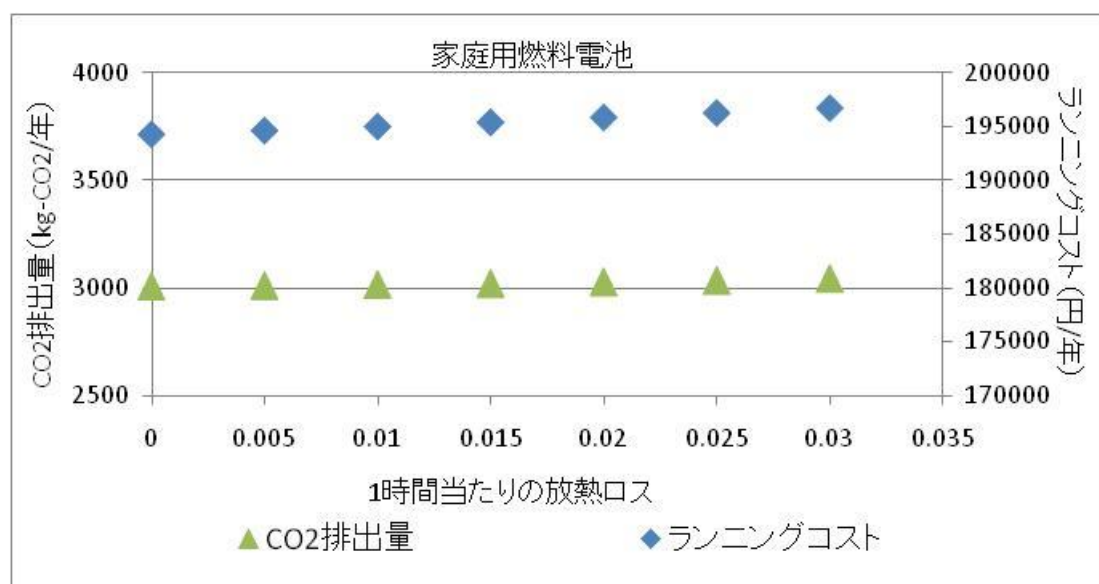


図 5.2 貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(家庭用燃料電池)

表 5.1 貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(家庭用燃料電池)

	貯湯槽の放熱ロス(1時間当たり)						
	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03
ランニングコスト(円/年) (下段は放熱ロス「0.03」との比較)	194223	194570	194942	195346	195793	196211	196662
	98.8%	98.9%	99.1%	99.3%	99.6%	99.8%	100.0%
CO <sub>2</sub> 排出量(kg-CO <sub>2</sub> /年) (下段は放熱ロス「0.03」との比較)	3009	3012	3017	3022	3029	3035	3044
	98.9%	99.0%	99.1%	99.3%	99.5%	99.7%	100.0%
総合効率	80.0%	79.2%	78.3%	77.5%	76.6%	75.9%	75.0%

## 5.2.2 HP 給湯器

HP 給湯器の放熱率の感度分析の結果を図 5.3、表 5.2 に示した。1 時間当たりの放熱ロスを現状の 3%から 0%まで減らすことでランニングコストが 95.9%となり、放熱ロスが完全になくなることで年間では 7476 円の費用を削減できることとなる。環境性に関しても、現状と比較して 90.8%と CO<sub>2</sub>排出量の削減効果が大いという結果が得られた。経済性、環境性が共に大きく良化するの放熱ロスが減ることシステム全体の性能を示すシステム COP が大きく向上するからである。図 5.4 に放熱ロスの変化に伴う COP の変化を示したが、放熱ロスが 1 時間当たり 3%の時では HPCOP が 2.71 であるのに対してシステム COP は 1.89 とシステム COP は HPCOP から大きく低下していた。費用最小化運転モデルにおいて、HP 給湯器は安価な深夜電力を利用して貯湯を行うことからお湯の利用時間帯まで比較的長い時間、貯湯槽にお湯を貯めることになり、システム全体の性能を示すシステム COP は放熱ロスの影響を大きく受けることになるからである。したがって、図 5.4 から分かるように、放熱ロスが小さくなっていくとシステム COP は HPCOP に徐々に近づいていく。その結果、放熱ロスがないと仮定した場合にはシステム COP は HPCOP と同等の 2.74 と大きく上昇しており、これは放熱ロスが現状の 1 時間当たり 3%の時の 1.45 倍である。この放熱ロスの改善に伴うシステム COP の大幅な向上が経済性、環境性の大きな向上につながっていると言える。

放熱ロスの影響がシステム COP に与える影響が大きいということから HP 給湯器が深夜電力を使わずに給湯需要に近い時間帯で貯湯を行えば、貯湯時間が短くなることから放熱ロスの影響が少なくなり、システム COP が大きく改善される可能性があるということを示している。つまり、HP 給湯機は運転のさせ方次第では経済性、環境性に大きな変化をもたらす可能性があることを示していると言える。

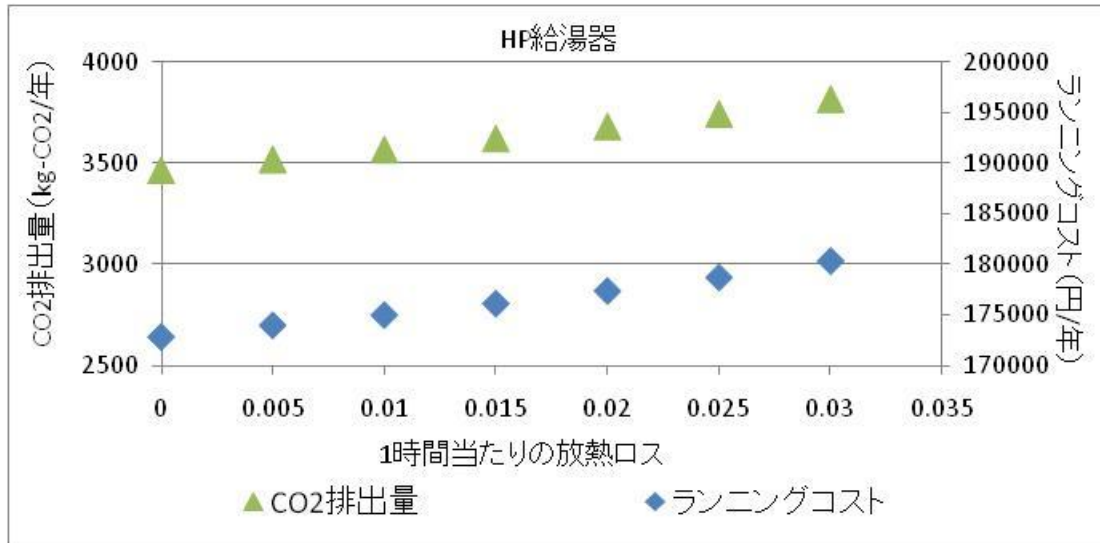


図 5.3 貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(HP 給湯器)

表 5.2 貯湯槽の放熱率の変化による感度分析(HP 給湯器)

	貯湯槽の放熱ロス(1時間当たり)						
	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03
ランニングコスト(円/年) (下段は放熱ロス「0.03」との比較)	172882	174011	175033	176154	177396	178730	180358
	95.9%	96.5%	97.0%	97.7%	98.4%	99.1%	100.0%
CO2排出量(kg-CO2/年) (下段は放熱ロス「0.03」との比較)	3466	3520	3569	3623	3683	3745	3819
	90.8%	92.2%	93.4%	94.9%	96.4%	98.1%	100.0%

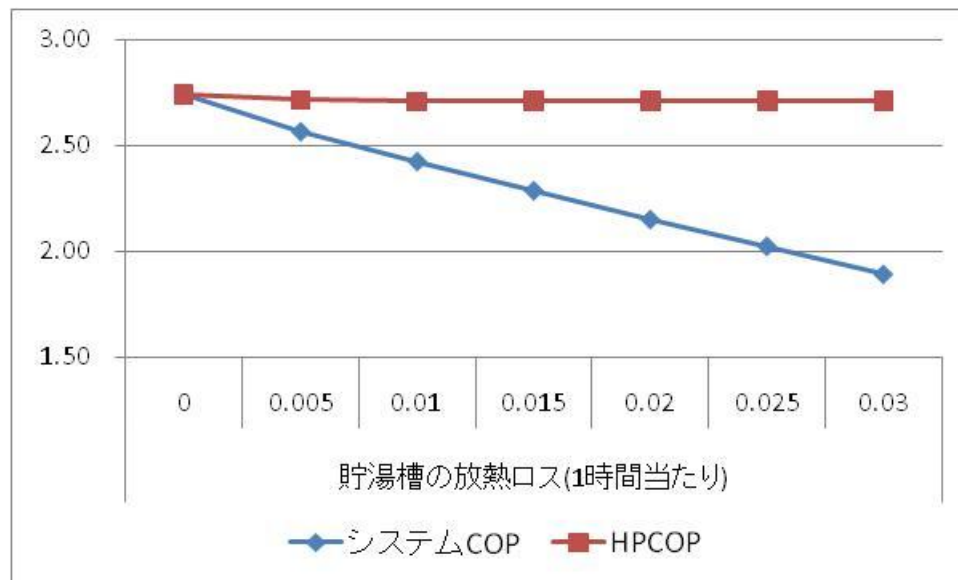


図 5.4 貯湯槽の放熱率の変化による COP の変化



### 5.2.3 家庭用燃料電池と HP 給湯器の比較

放熱ロスの感度分析において表 5.1、5.2 に示すように 1 時間当たりの放熱ロスが 3% から 0% になることで年間のランニングコストは家庭用燃料電池では 2439 円、HP 給湯器では 7476 円の削減効果があり、年間の CO<sub>2</sub> 排出量に関しては家庭用燃料電池では 35kg-CO<sub>2</sub>、HP 給湯器では 353kg-CO<sub>2</sub> の削減効果がある。つまり、HP 給湯器は家庭用燃料電池と比較すると経済性では約 3 倍の削減効果、環境性では約 10 倍の削減効果となっており、HP 給湯機の方が大きく削減されており、放熱ロスの影響が大きくなっていることが分かる。

費用最小化運転モデルでは家庭用燃料電池は給湯需要に近い時間帯で稼働するのに対して、HP 給湯器に関しては、より安価な深夜電力を利用して稼働を行うため、HP 給湯器の稼働時間と給湯需要の時間帯は大きく離れてしまう。このため、HP 給湯器についてはお湯の貯湯時間が家庭用燃料電池より長くなるので、放熱ロスの影響が大きくなっている。

このことから貯湯槽の放熱ロスが改善されるメリットは HP 給湯器の方が大きいと言える。

## 5.3 給湯器の効率の感度分析

本節では貯湯槽の放熱率の改善による感度分析を行う。対象とする給湯器は家庭用燃料電池と HP 給湯器の 2 つである。今回、世帯構成を「4 人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とした需要家を分析の対象として用いることにした。機器の性能の向上に合わせてイニシャルコストは大きく変化する可能性がある。そのため、本節においても経済性の評価はランニングコストのみとした。

### 5.3.1 家庭用燃料電池の発電効率

家庭用燃料電池の発電効率の向上に関する条件設定としては放熱ロスを除いて、発電効率と熱回収率の和が 80% となるように設定を行った。つまり、発電効率が 33% である時には熱回収率は 47%、発電効率が 60% である時には熱回収率は 20% と設定をした。

家庭用燃料電池の発電効率の変化がランニングコストに与える影響については図 5.5、表 5.3、CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響については図 5.6、表 5.4 にそれぞれ地域別に示した。

家庭用燃料電池の発電効率が 33% から改善されていくことでランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量ともにいずれの地域についても削減されていく。例えば、発電効率が 50% まで改善されることで現状の発電効率である 33% の時と比較してランニングコストは札幌で 92.2%、東京で 92.5%、鹿児島で 90.9%、CO<sub>2</sub> 排出量は札幌で 88.5%、東京で 86.8%、鹿児島で 84.6% と大きく削減できている。

しかし、図 5.5、5.6 から家庭用燃料電池の発電効率が高くなるにつれて、ランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果は鈍化していることが見てとれる。例えば、表 5.3 を見ると東京では 1 年当たりのランニングコストに関しては発電効率が 35% から 40% に改善される際には 5728 円も削減されているのにもかかわらず、発電効率が 55% から 60% に改善される際には 826 円に留まっている。表 5.4 を見ると東京では 1 年当たりの CO<sub>2</sub> 排出量に関しては発電効率が 35% から 40% に改善される際には 145 kg-CO<sub>2</sub> も削減されているのにもかかわらず、発電効率が 55% から 60% に改善される際には 14 kg-CO<sub>2</sub> に留まっている。家庭用燃料電池は発電効率が上昇していくことで熱回収率は低下する。特に、発電効率が 60% の時には熱回収率が 20% となってしまう、かなり熱回収率が小さくなってしまう。このことが大きく影響していると考えられる。

図 4.9 に示したように世帯構成を「4 人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とした場合には需要家の電力需要と給湯需要の比は札幌で 1.20、東京で 1.23、鹿児島で 1.38 となる。家庭用燃料電池の発電効率が現状の 33% の時は熱回収率が 47% と高いことから家庭用燃料電池の発電時の排熱を利用して給湯需要を満たすことができ、足りない電力需要分については系統電力から買うことで満たすことになる。図 5.7 に東京における家庭用燃料電池

の発電効率が変化することによって家庭用燃料電池による電力供給量と系統電力からの買電量がどのように変化するからを示した。家庭用燃料電池の発電効率が高くなっていくことによって家庭用燃料電池による電力供給量が増えていることが分かる。しかし、家庭用燃料電池の発電効率が向上するとそれに対応して熱回収率が小さくなってしまうことから、家庭用燃料電池の発電効率と熱回収率の比が需要家のエネルギー電力需要と給湯需要の比を超えてしまえば、現状の場合とは逆に、家庭用燃料電池の発電時の排熱の回収だけでは給湯需要を満たすことは難しくなってしまう。このことによって家庭用燃料電池の発電効率が向上すると「家庭用燃料電池による電力供給が過剰となっても、家庭用燃料電池の発電時における排熱の熱回収によって給湯需要を満たすように家庭用燃料電池を稼働させる」か「電力供給の過剰を防ぐために家庭用燃料電池の発電時の排熱の熱回収で満たせない給湯需要については補助熱源機を稼働させる」かのどちらかの運転状況になることが考えられる。つまり、家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが十分に活かされない運転状況になってしまう。本研究のシミュレーション結果では図 5.8 に示したように発電効率が上昇するにしたがって、補助熱源機によるガス利用量の割合が高くなっており、電力の過剰供給を抑えている。このことによって、電力の過剰供給量は最大のケースである発電効率が 60% の時でも電力供給量に対して札幌で 1.78%、東京で 0.99%、鹿児島で 2.59% に抑えられている。このように家庭用燃料電池による電力供給の過剰が抑えられる影響で図 5.7 に示したように家庭用燃料電池の発電効率が 50% 以上においては家庭用燃料電池による発電量はあまり変化していない。このような領域においては先のような補助熱源機を利用した運転となってしまうことから家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが十分に活かされていないと言える。そのため、家庭用燃料電池の発電効率が向上してもランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が小さくなってしまうのであると考えられる。

以上のことから家庭用燃料電池の発電効率が向上することでランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量ともに削減する可能性を示してはいるが、電力需要と給湯需要の比によってその削減効果は影響を受けると言える。家庭用燃料電池の現状の 33% であれば給湯需要の割合が高い方が家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが発揮されるが、家庭用燃料電池の発電効率が向上すれば逆に、給湯需要の割合が低くなり、電力需要の割合が増加した方が家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが発揮できると可能性があるということを示していると言える。

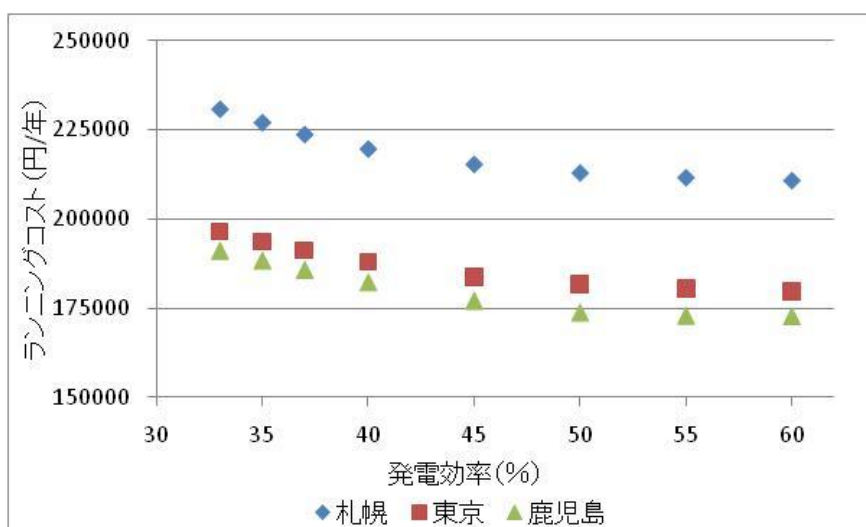


図 5.5 家庭用燃料電池の発電効率の感度分析（ランニングコスト）

表 5.3 家庭用燃料電池の発電効率の感度分析（ランニングコスト） [円/年]

	発電効率 (%)							
	33	35	37	40	45	50	55	60
札幌 (下段は現状との比)	230892 100.0%	227138 98.4%	223737 96.9%	219644 95.1%	215289 93.2%	212871 92.2%	211549 91.6%	210715 91.3%
東京 (下段は現状との比)	196457 100.0%	193718 98.6%	191252 97.4%	187990 95.7%	183842 93.6%	181699 92.5%	180417 91.8%	179591 91.4%
鹿児島 (下段は現状との比)	191250 100.0%	188492 98.6%	185899 97.2%	182407 95.4%	177217 92.7%	173895 90.9%	173051 90.5%	172882 90.4%

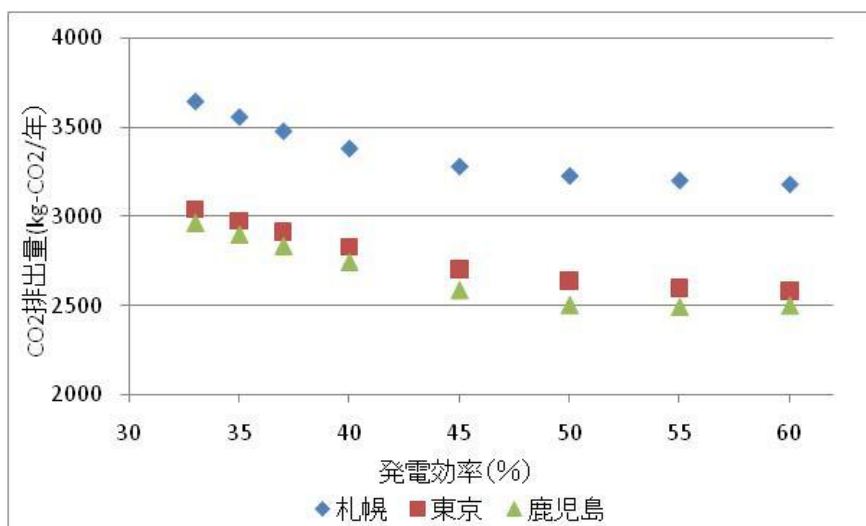


図 5.6 家庭用燃料電池の発電効率の感度分析（CO<sub>2</sub> 排出量）

表 5.4 家庭用燃料電池の発電効率の感度分析 (CO<sub>2</sub> 排出量) [kg-CO<sub>2</sub>/年]

	発電効率(%)							
	33	35	37	40	45	50	55	60
札幌 (下段は現状との比)	3647 100.0%	3558 97.6%	3478 95.4%	3381 92.7%	3279 89.9%	3225 88.5%	3199 87.7%	3177 87.1%
東京 (下段は現状との比)	3040 100.0%	2975 97.9%	2914 95.9%	2830 93.1%	2702 88.9%	2639 86.8%	2599 85.5%	2585 85.0%
鹿児島 (下段は現状との比)	2961 100.0%	2897 97.8%	2833 95.7%	2744 92.7%	2589 87.4%	2505 84.6%	2495 84.3%	2502 84.5%

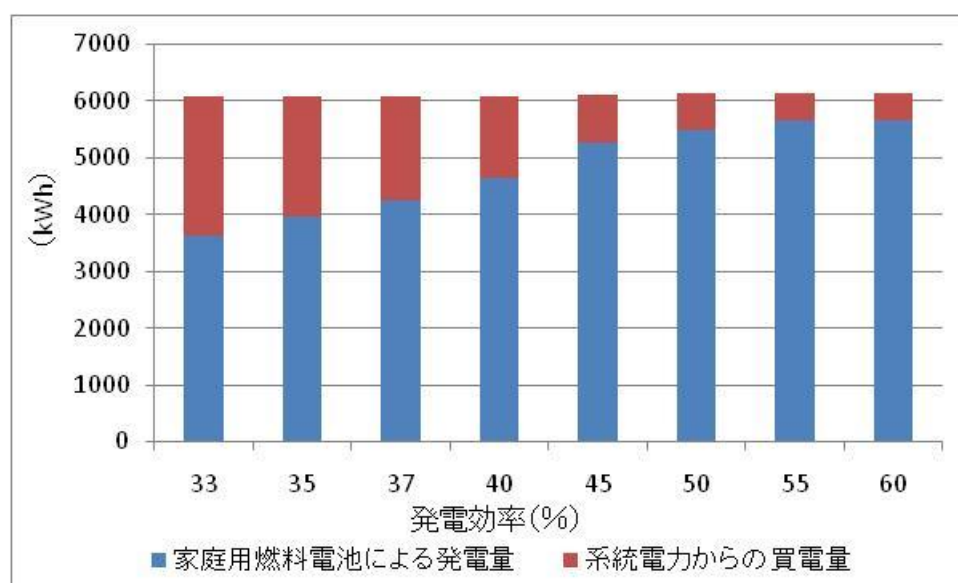


図 5.7 電力供給量の内訳 (東京)

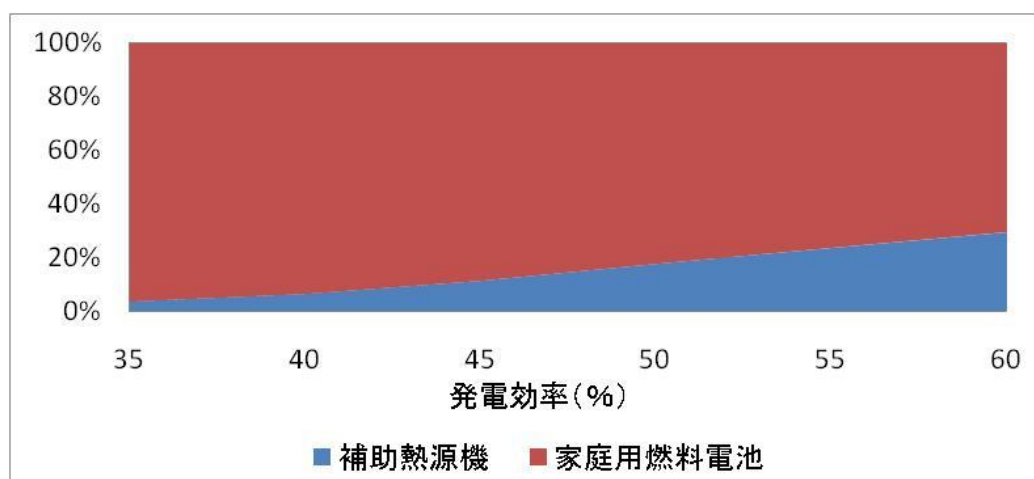


図 5.8 家庭用燃料電池と補助熱源機のガスの利用割合 (東京)

### 5.3.2 HP 給湯器の COP

HP 給湯器の COP の向上に関する条件設定としては現状の HPCOP との比が「1.1、1.2、1.3、1.4、1.5、1.7、2」になる場合について感度分析を行った。表 5.5 に HPCOP が改善されることによって年間の平均のシステム COP がどのように変化するかを地域別に示した。また、HP 給湯器の HPCOP の変化がランニングコストに与える影響については図 5.9、表 5.6、CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響については図 5.10、表 5.7 にそれぞれ地域別に示した。

HP 給湯器の HPCOP が現状より改善されていくことでシステム COP の向上につながり、ランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量ともにいずれの地域についても削減されていく。HPCOP が現状比の 2 倍まで改善されると HPCOP が現状の時と比較して表 5.5 に示した年間平均のシステム COP が札幌で 1.66 から 3.43、東京で 1.95 から 4.03、鹿児島で 2.03 から 4.18 まで向上する。この結果、ランニングコストでは札幌で 91.9%、東京で 93.3%、鹿児島で 94.2%、CO<sub>2</sub> 排出量は札幌で 82.7%、東京で 84.9%、鹿児島で 86.4%と大きく削減できている。特に、寒冷地である札幌においては HPCOP、システム COP が他地域と比較して小さかったことからより削減効果が大きくなっている。

HP 給湯器の COP が改善されることによる削減効果は、鈍化はしているものの、家庭用燃料電池のように性能の変化が影響したものではなく、HP 給湯器の COP 改善効果が給湯需要量のみにしか影響しないことから性能向上に対する対象需要量が一定と限定的になるからである。

表 5.5 HPCOP の現状比に対する年間平均のシステム COP

	HPCOPの現状との比								
	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2	2.5
札幌	1.66	1.83	2.00	2.18	2.36	2.54	2.90	3.43	4.33
東京	1.95	2.16	2.36	2.57	2.78	2.99	3.40	4.03	5.07
鹿児島	2.03	2.24	2.46	2.67	2.89	3.10	3.53	4.18	5.26

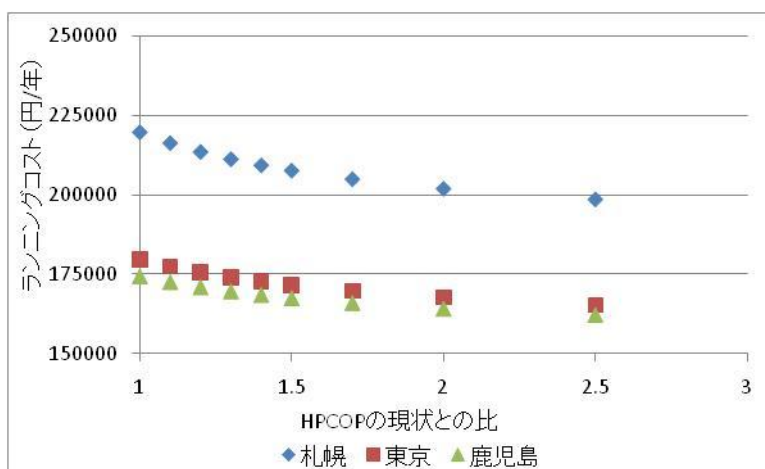


図 5.9 HP 給湯器の COP の感度分析 (ランニングコスト)

表 5.6 HP 給湯器の COP の感度分析 (ランニングコスト) [円/年]

	HPCOPの現状との比								
	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2	2.5
札幌 (下段は現状との比)	219685 100.0%	216280 98.4%	213515 97.2%	211217 96.1%	209291 95.3%	207634 94.5%	204935 93.3%	201941 91.9%	198597 90.4%
東京 (下段は現状との比)	179621 100.0%	177358 98.7%	175516 97.7%	173972 96.9%	172659 96.1%	171529 95.5%	169683 94.5%	167628 93.3%	165326 92.0%
鹿児島 (下段は現状との比)	174263 100.0%	172366 98.9%	170803 98.0%	169493 97.3%	168377 96.6%	167417 96.1%	165847 95.2%	164097 94.2%	162135 93.0%

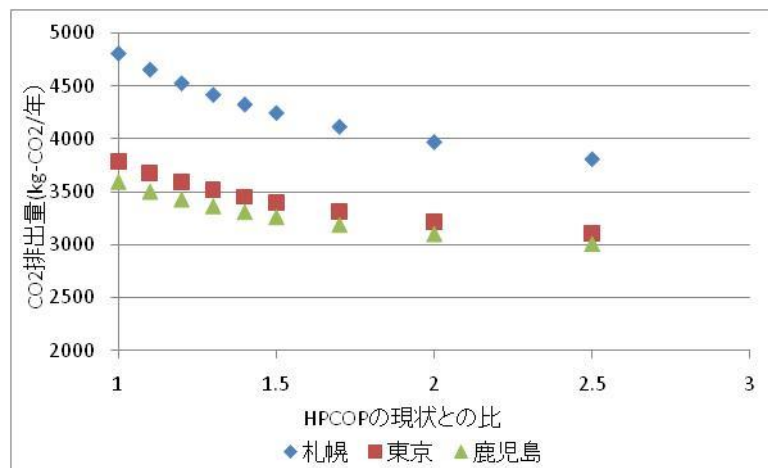


図 5.10 HP 給湯器の COP の感度分析 (CO<sub>2</sub> 排出量)

表 5.7 HP 給湯器の COP の感度分析 (CO<sub>2</sub> 排出量) [kg-CO<sub>2</sub>/年]

	HPCOPの現状との比								
	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2	2.5
札幌 (下段は現状との比)	4802 100.0%	4651 96.8%	4523 94.2%	4414 91.9%	4323 90.0%	4244 88.4%	4114 85.7%	3970 82.7%	3810 79.3%
東京 (下段は現状との比)	3785 100.0%	3680 97.2%	3592 94.9%	3518 92.9%	3454 91.3%	3401 89.9%	3312 87.5%	3213 84.9%	3103 82.0%
鹿児島 (下段は現状との比)	3593 100.0%	3503 97.5%	3428 95.4%	3365 93.6%	3311 92.1%	3265 90.9%	3190 88.8%	3105 86.4%	3012 83.8%

## 5.4 CO<sub>2</sub>排出原単位の感度分析

本節では系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善における感度分析と都市ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析を行う。いずれの場合についても対象の需要家は世帯構成を「4人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」とする。系統電力やガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善によってエネルギー単価がどのように変化するか定量的に評価するのは難しい。そのため、本節では経済性の評価を行わず、環境性のみ評価を行うことにする。

### 5.4.1 系統電力

系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の感度分析を行ったものを地域別に図 5.11～5.13 に示す。いずれの地域においても系統電力の排出原単位が改善されることによって全ての給湯器で CO<sub>2</sub> 排出量は減少する。電気を利用して給湯を行う HP 給湯器については系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善による CO<sub>2</sub> 排出削減効果が最も大きくなっている。逆に、電力需要の一部を、ガスを利用した自家発電によって満たすことから他の給湯器と比較して系統からの買電量が少なくなる家庭用燃料電池においては系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善による影響は小さくなる。この影響から HP 給湯器に関しては系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.28kg-CO<sub>2</sub>/kWh まで改善されるといずれの地域についても CO<sub>2</sub> 排出量が最も少なくなる。また、家庭用燃料電池に関しては系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が現状の 0.44 kg-CO<sub>2</sub>/kWh であればいずれの地域においても最も CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなるのに対して、0.22 kg-CO<sub>2</sub>/kWh まで改善されると最も CO<sub>2</sub> 排出量が多くなる。また、系統電力からの買電量が等しくなる従来型給湯機と潜熱回収型給湯器は系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善されると同じ量だけの CO<sub>2</sub> 排出量を削減している。

次に地域別にその傾向について詳細に見ていくことにする。表 5.8～5.10 に系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性を順位付けしたものを示した。従来型給湯器は「従来」、潜熱回収型給湯器は「潜熱」、家庭用燃料電池については「CGS」、HP 給湯器に関しては「HP」と表記した。HP 給湯器が最も CO<sub>2</sub> 排出量が少なくなるのは系統の CO<sub>2</sub> 排出原単位が札幌で 0.298 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、東京で 0.318 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、鹿児島で 0.322 kg-CO<sub>2</sub>/kWh の時であった。HP 給湯器は外気温によって性能が変化しやすいことから、HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量を最も少なくするためには寒冷地である札幌においては他の地域と比較して系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善がより必要である。また、家庭用燃料電池についてはいずれの地域でも 0.24 kg-CO<sub>2</sub>/kWh 程度まで下がることで最も CO<sub>2</sub> 排出量が多い給湯器になることが示された。



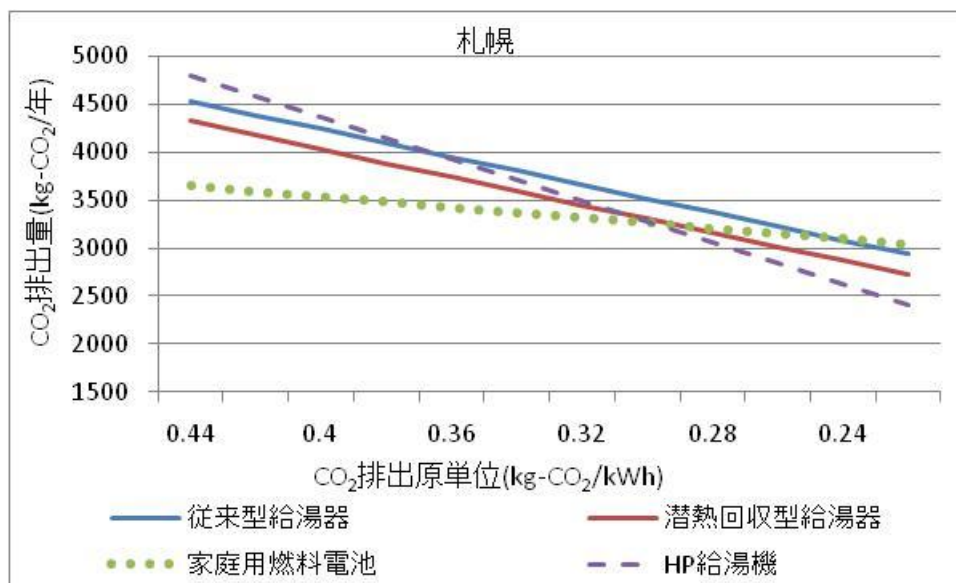


図 5.11 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(札幌)

表 5.8 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(札幌)

	排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)											
	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22
1	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	HP	HP	HP	HP
2	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	HP	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱
3	従来	従来	従来	従来	HP	HP	HP	潜熱	CGS	CGS	従来	従来
4	HP	HP	HP	HP	従来	従来	従来	従来	従来	従来	CGS	CGS

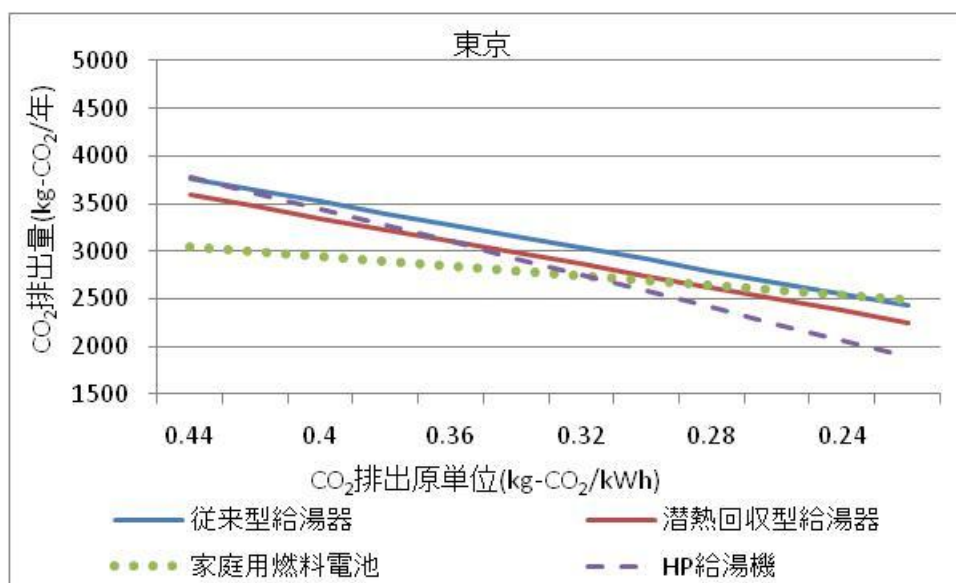


図 5.12 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(東京)

表 5.9 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(東京)

	排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)											
	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22
1	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	HP	HP	HP	HP	HP
2	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	HP	HP	HP	CGS	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱
3	従来	HP	HP	HP	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	CGS	CGS	従来	従来
4	HP	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	CGS	CGS

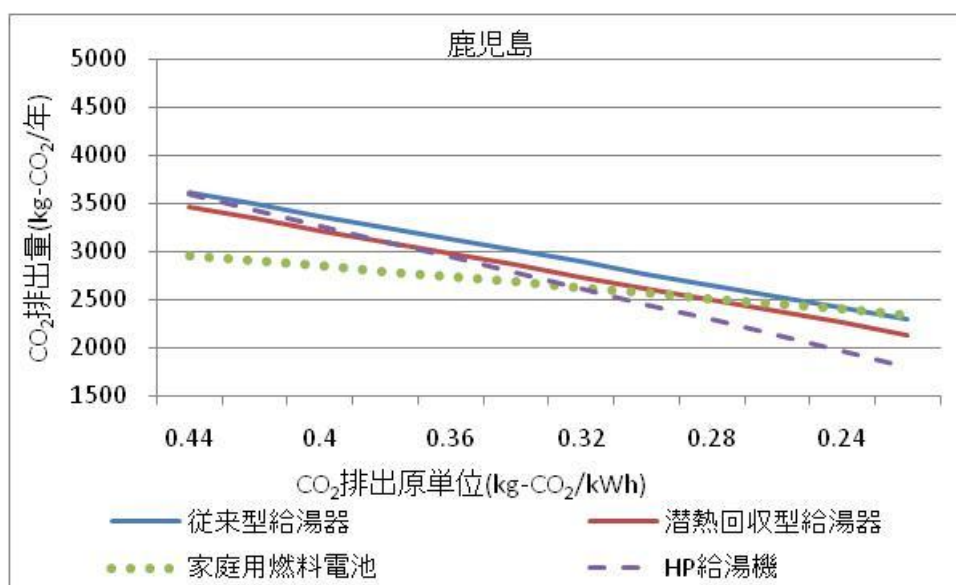


図 5.13 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の感度分析(鹿児島)

表 5.10 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による環境性の順位(鹿児島)

	排出原単位(kg-CO <sub>2</sub> /kWh)											
	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22
1	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	CGS	HP	HP	HP	HP	HP	HP
2	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	HP	HP	CGS	CGS	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱
3	HP	HP	HP	HP	潜熱	潜熱	潜熱	潜熱	CGS	CGS	CGS	従来
4	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	従来	CGS

## 5.4.2 ガス

ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析を行ったものを地域別に図 5.14～5.16 に示す。HP 給湯器に関してはガスの利用はないことからいずれの場合についてもガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合に影響は受けない。図 5.17 にガスの排出原単位が 1%改善されることによる CO<sub>2</sub> 排出削減量を示したようにいずれの地域についてもガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合によって CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が最も大きいのは家庭用燃料電池で、次に従来型給湯器、潜熱回収型給湯器の順番になっている。特に家庭用燃料電池については、他の給湯器よりも大きな削減効果があり、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が 1%改善されることで札幌では 24.2kg-CO<sub>2</sub>、東京では 19.2 kg-CO<sub>2</sub>、鹿児島では 17.5 kg-CO<sub>2</sub> の CO<sub>2</sub> 排出量を 1 年間で減らせている。家庭用燃料電池は給湯の供給だけでなく、電力供給についてもガスを利用して行うことからガスの利用量が多くなり、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善による影響が大きくなる。従来型給湯器に関しては潜熱回収型給湯器によりも効率が悪いことから給湯需要が同等であればガスの利用量は多くなってしまふ。このため、潜熱回収型給湯器よりも CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善による効果が大きくなる。

地域別に見ると給湯需要が多くなることからガスの利用量が増える寒冷地の札幌において最も大きな削減効果がある。このことで従来型給湯器より潜熱回収型給湯器はガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の影響が少ないのだが、札幌における潜熱回収型給湯器の CO<sub>2</sub> 排出削減量は東京、鹿児島における従来型給湯器の CO<sub>2</sub> 排出削減量よりも大きくなっている。

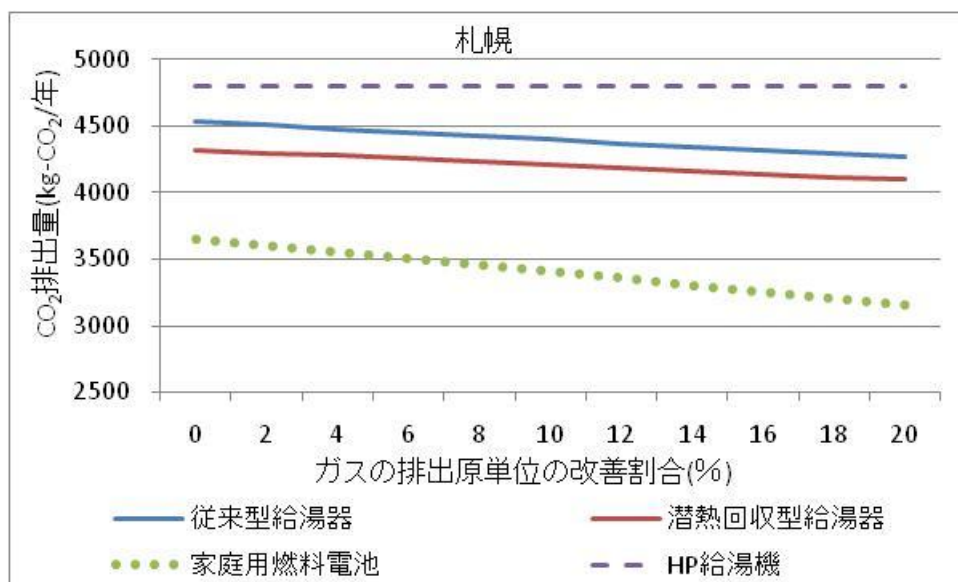


図 5.14 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(札幌)

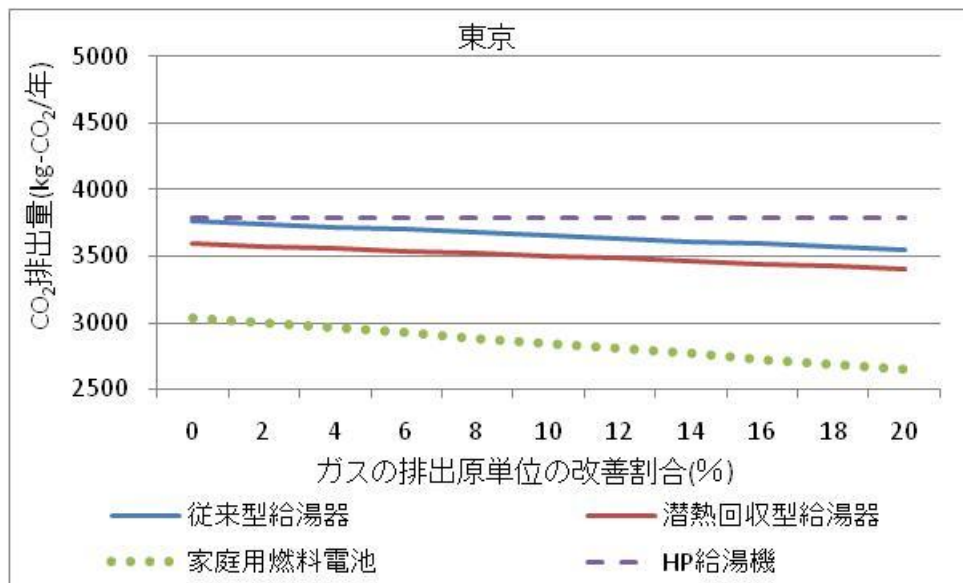


図 5.15 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(東京)

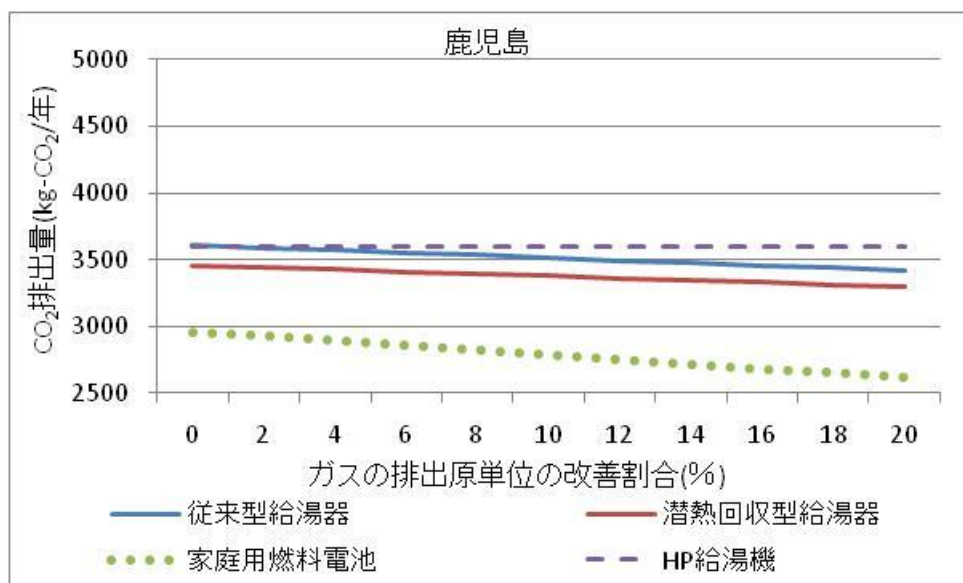


図 5.16 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合における感度分析(鹿児島)

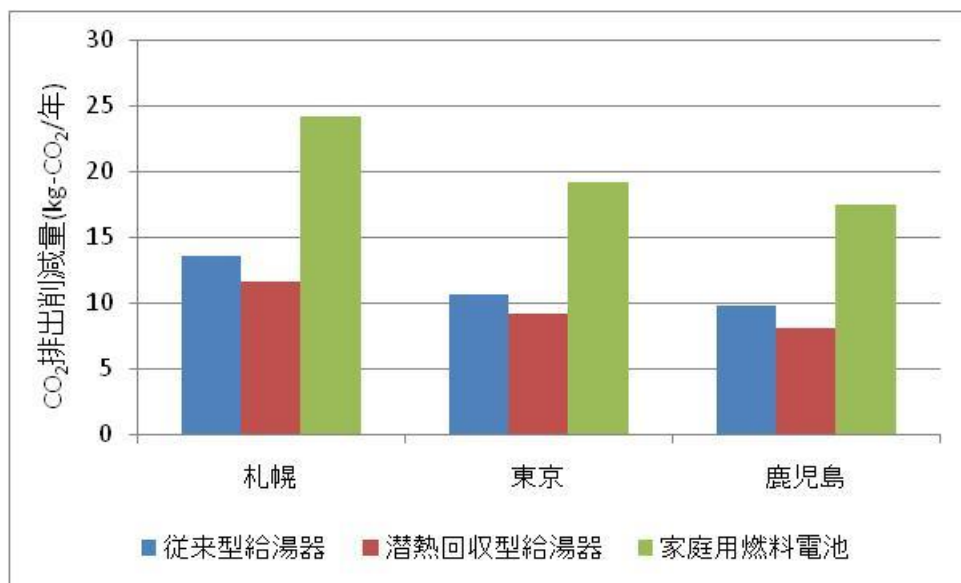


図 5.17 ガスの排出電単位が 1%改善されることによる CO<sub>2</sub> 排出削減量

## 5.5 ブレークイーブン

本節では系統電力やガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の向上やエネルギー機器の効率上昇によって CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる点を様々な視点から検証していく。このことによってより効率的な CO<sub>2</sub> 排出量の削減方法について言及する。対象とする需要家については世帯構成を「4 人世帯」、住宅を「次世代省エネ基準住宅」にする。

### 5.5.1 現状効率における各給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量のブレークイーブン

本項においては各給湯器が現状の効率の場合、系統電力とガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位がどれだけ変化することで CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる点がどのように変化するかを示す。まずガスを利用する給湯器である従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池が HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる点を図 5.18～5.20 に地域別に示した。図 5.18 から札幌で HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのはガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が現状である時（改善割合が 0%）の時では、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が従来型給湯器では 0.366 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器では 0.308 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池では 0.298 kg-CO<sub>2</sub>/kWh の時であり、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が 10%改善された場合には従来型給湯器で 0.329 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器で 0.278 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池で 0.268 kg-CO<sub>2</sub>/kWh となっている。図 5.19 から東京で HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのはガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が現状である時（改善割合が 0%）の時では、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が従来型給湯器では 0.432 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器では 0.363 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池では 0.318 kg-CO<sub>2</sub>/kWh の時であり、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が 10%改善された場合には従来型給湯器で 0.388 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器で 0.326 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池で 0.287 kg-CO<sub>2</sub>/kWh となっている。図 5.20 から鹿児島で HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのはガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が現状である時（改善割合が 0%）の時では、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が従来型給湯器では 0.448 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器では 0.378 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池では 0.322 kg-CO<sub>2</sub>/kWh の時であり、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が 10%改善された場合には従来型給湯器で 0.408 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、潜熱回収型給湯器で 0.34 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、家庭用燃料電池で 0.29 kg-CO<sub>2</sub>/kWh となっている。いずれの地域についてもガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が低下することでガスを利用する給湯器が HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量がブレークイーブンとなる系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位は低下していることが分かる。言い換えれば、機器の効率を一定とすると系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が低下した際に、HP 給湯器に対してガス給湯器が環境性能を同等に保つためにはガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の低下が必要であるということである。

現状の効率では HP 給湯器と CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位はいず

れの地域についても家庭用燃料電池、潜熱回収型給湯器、従来型給湯器の順に小さくなる。このことから系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善されても家庭用燃料電池が最も HP 給湯器に対して環境面において優位性を保ち続けることができる。

図 5.21 に家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる点を地域別に示した。HP 給湯器の性能が寒冷地では低下してしまうことから他の 2 地域と比較して家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるには系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位がより改善されなければならないことが分かる。

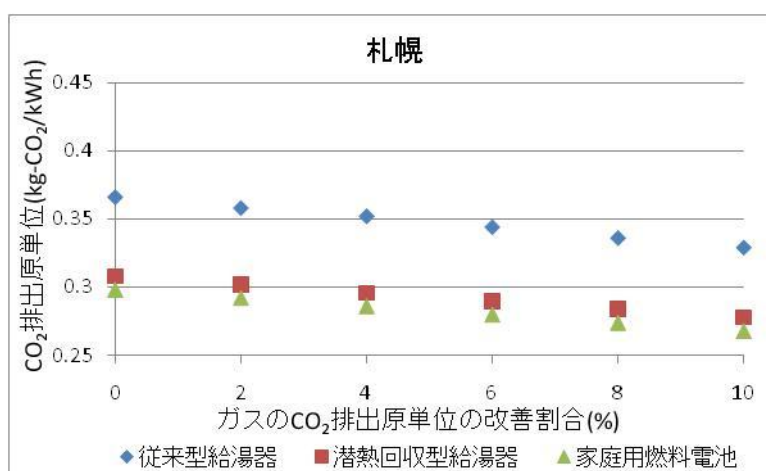


図 5.18 ガス給湯器と HP 給湯器のブレイクイーブン(札幌)

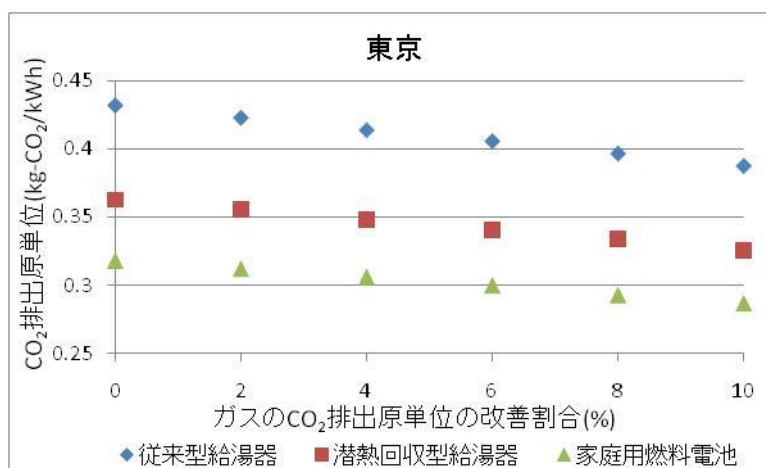


図 5.19 ガス給湯器と HP 給湯器のブレイクイーブン(東京)

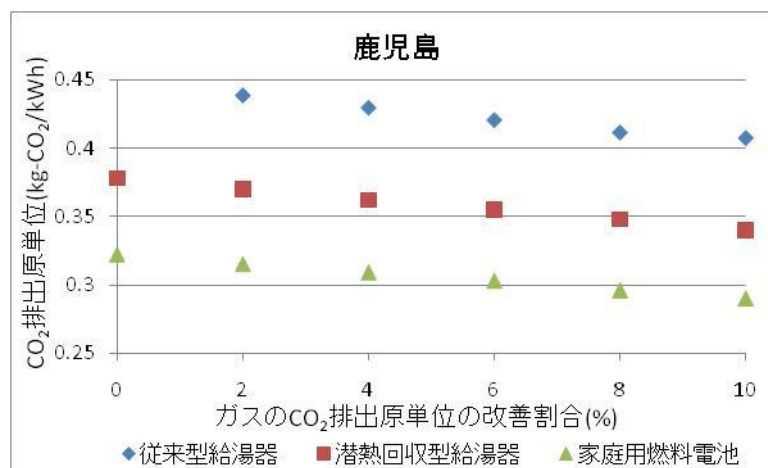


図 5.20 ガス給湯器と HP 給湯器のブレイクイーブン(鹿児島)

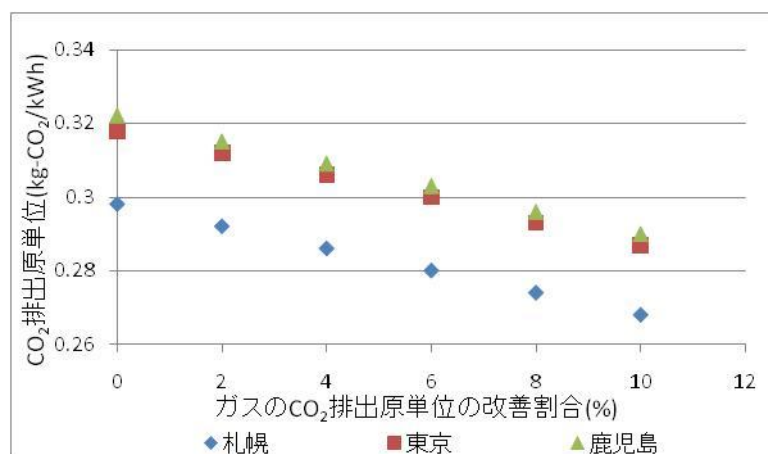


図 5.21 家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン(地域別)



### 5.5.2 系統の CO<sub>2</sub> 排出原単位と機器の性能のブレークイーブン

本項においては系統電力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が変化することで CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるために家庭用燃料電池、HP 給湯器の性能がどのように変化するかを示す。本項においては対象の地域は「東京」のみにする。

図 5.22 に系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位のみが変化した場合に CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるために家庭用燃料電池の発電効率がどのように変化するかを示した。系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.4kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.36 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.32 kg-CO<sub>2</sub>/kWh と改善されることで CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる家庭用燃料電池の発電効率はそれぞれ 36.2%、39.5%、43.4%となる。

図 5.23 にガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合が変化した場合に CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるために家庭用燃料電池の発電効率がどのように変化するかを示した。ガスの排出原単位の改善割合が 4%、8%、12%と変化することで CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる家庭用燃料電池の発電効率はそれぞれ 35.4%、38.1%、41%となる。

このことから系統電力やガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が変化することは家庭用燃料電池の発電効率の向上と同様の効果を有しているということを示している。

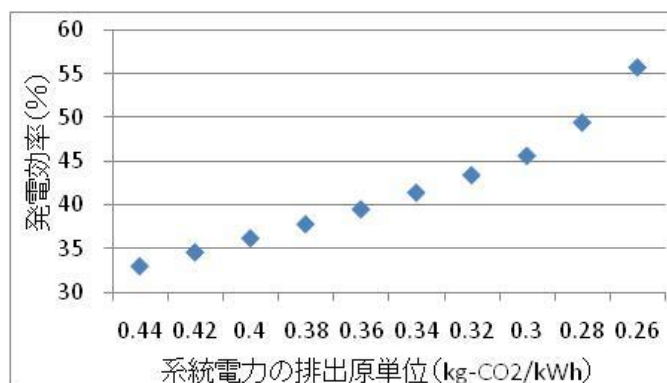


図 5.22 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位と家庭用燃料電池の発電効率のブレークイーブン

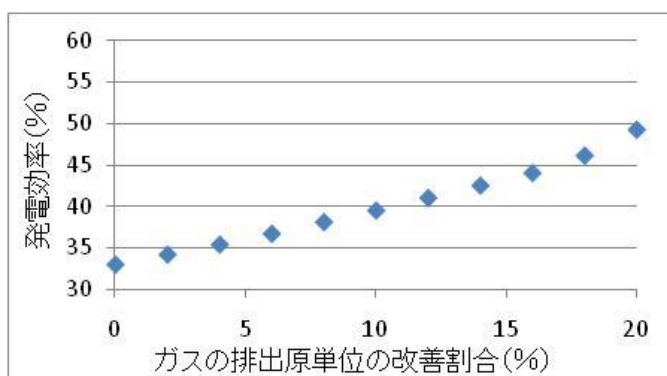


図 5.23 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合と家庭用燃料電池の発電効率のブレークイーブン

図 5.24 に系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合が変化した際に、CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるために HP 給湯器の HPCOP の比が現状と比較してどのように変化するかを示した。系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.42kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.4 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.38 kg-CO<sub>2</sub>/kWh と改善されることで CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる HP 給湯器の HPCOP の現状比は 1.175、1.425、1.57 と大きく改善されていく。これは年間平均のシステム COP では 2.3、2.79、3.07 に対応する(現状の年間平均のシステム COP は 1.96)。家庭用燃料電池と HP 給湯器では機器の性能の指標が異なることから一概に比較することはできないが、家庭において系統電力の利用量が多くなる HP 給湯器に関しては系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位の影響が家庭用燃料電池よりも大きくなることから、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善されることで、より機器の性能の向上が必要であると考えられる。

このことから HP 給湯器に関しては系統電力の HP 給湯器の機器の効率と系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が同時に改善されることで CO<sub>2</sub> 排出量が大きく削減可能性できる可能性を有していると言える。

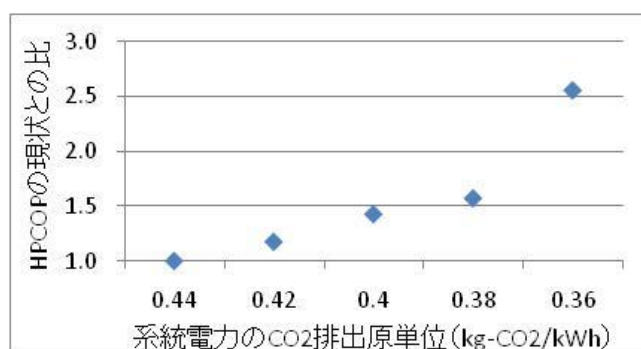


図 5.24 系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位と HP 給湯器の HPCOP のブレイクイーブン

### 5.5.3 家庭用燃料電池と HP 給湯器の性能向上時におけるブレイクイーブン

本項においては家庭用燃料電池と HP 給湯器の性能が変化することで CO<sub>2</sub>排出量が等しくなる系統電力の CO<sub>2</sub>排出原単位がどのように変化するかを示す。

図 5.25～5.27 に地域別に系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位別(0.44～0.32kg-CO<sub>2</sub>/kWh)に家庭用燃料電池の発電効率が変化した際に CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる HP 給湯器の HPCOP の現状比を示した。表 5.11 には図 5.25～5.27 を数値化したものを示し、さらに HPCOP の現状比に対応するシステム COP を示した。HPCOP の現状比に関しては「1～3」の範囲に入らない場合は表記していない。

図 5.25～5.27 からいずれの地域についても系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善されていくことで家庭用燃料電池の発電効率に対する HPCOP の現状比も小さくなっていることが分かる。例えば、図 5.26 に示した東京において、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.44 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.40 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.36 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、0.32 kg-CO<sub>2</sub>/kWh と改善されていくことで家庭用燃料電池の発電効率が 33%の時の CO<sub>2</sub> 排出量と等しくなる HP 給湯器の HPCOP の現状比は 2.94、1.93、1.37、1.01 と小さくなっていく。これは年間平均のシステム COP に換算すると 5.73、3.76、2.67、1.97 である。また、図 5.25～5.27 から系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が 0.32 kg-CO<sub>2</sub>/kWh のケースについては家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのは家庭用燃料電池の発電効率が 60%まで向上したとしても HP 給湯器の HPCOP の現状比は札幌で 1.54、東京で 1.38、鹿児島で 1.4（年間平均のシステム COP に換算すると札幌で 2.55、東京で 2.69、鹿児島で 2.83）と HP 給湯器は家庭用燃料電池と比較して大きな性能向上を必要していないことが分かる。逆に系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が現状の 0.44kg-CO<sub>2</sub>/kWh であれば、家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのは家庭用燃料電池の発電効率が現状通りの 33%であっても HP 給湯器の HPCOP との現状比は札幌では 3 を超え、東京でも 2.94、鹿児島でも 2.91（年間平均のシステム COP に換算すると東京で 5.73、鹿児島で 5.90）と HP 給湯器は非常に大きな性能向上が必要になる。このように系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が機器の性能の技術革新時に家庭用燃料電池、HP 給湯器のどちらが環境性に優れているかを対比する際には大きな影響を与えることが分かる。特に、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善された場合には技術革新時においても HP 給湯器の優位性が大きくなるということが言える。

また、図 5.25～5.27 を見比べると寒冷地である札幌において家庭用燃料電池とブレイクイーブンとなる HP 給湯器の HPCOP の現状比が東京、鹿児島と比較して高めであるという傾向が見て取れる。

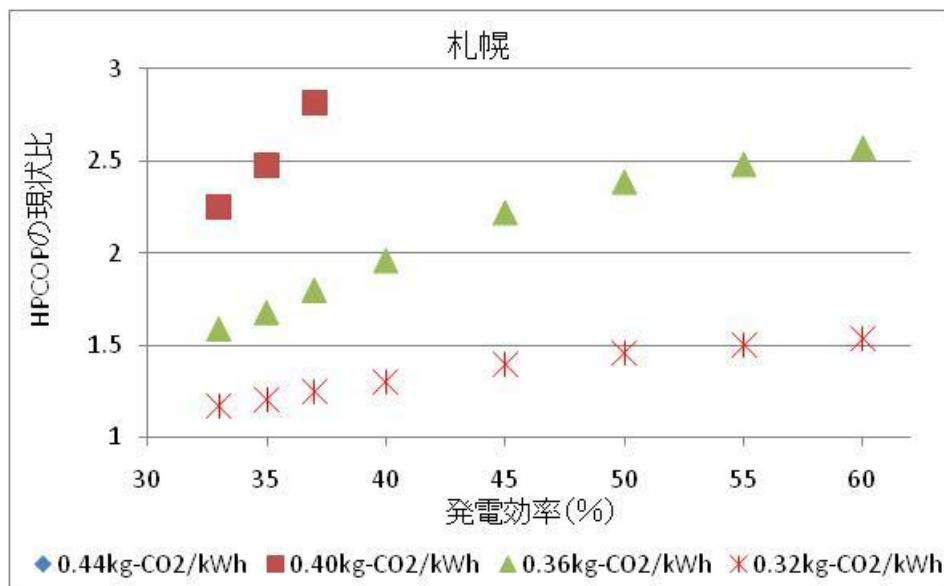


図 5.25 系統電力の CO<sub>2</sub>排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン  
(札幌)

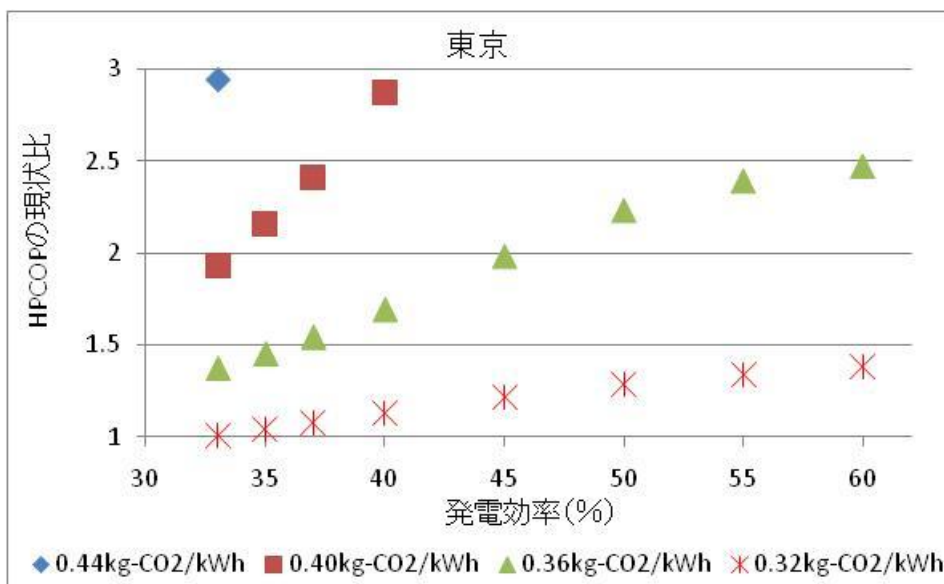


図 5.26 系統電力の CO<sub>2</sub>排出原単位別の家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレイクイーブン  
(東京)

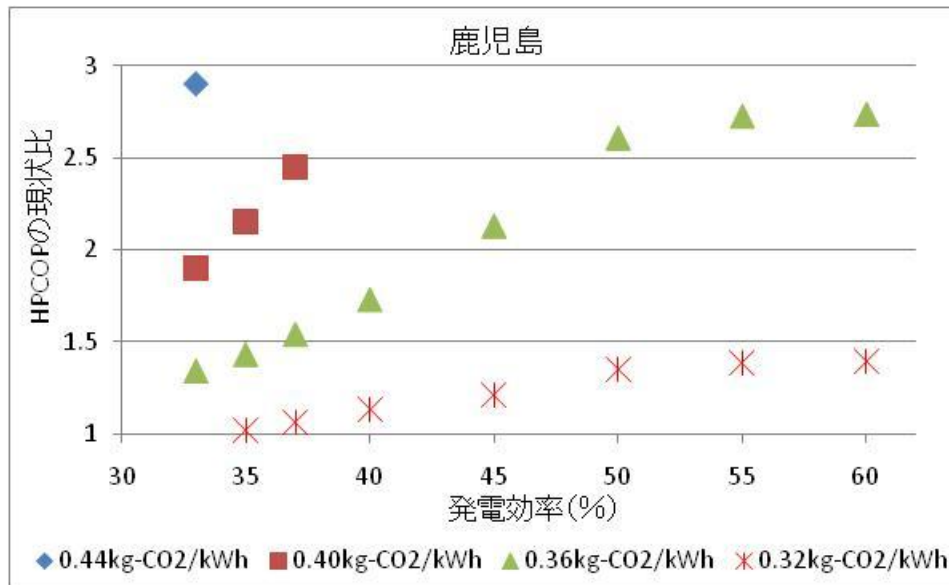


図 5.27 系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位別の家庭用燃料電池とHP給湯器のブレイクイーブン (鹿児島)

表 5.11 系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位別の家庭用燃料電池とHP給湯器のブレイクイーブン

			発電効率 (%)							
			33	35	37	40	45	50	55	60
HPCOPの現状との比 (下段の括弧内は対応する システムCOP)	札幌	0.44kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—	—	—	—	—	—	—	—
		0.40kg-CO <sub>2</sub> /kWh	2.25 (3.74)	2.48 (4.12)	2.82 (4.67)	—	—	—	—	—
		0.36kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.59 (2.64)	1.68 (2.79)	1.8 (2.99)	1.96 (3.25)	2.22 (3.69)	2.39 (3.96)	2.48 (4.12)	2.57 (4.27)
		0.32kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.17 (1.94)	1.21 (2.00)	1.25 (2.08)	1.31 (2.17)	1.40 (2.32)	1.46 (2.42)	1.51 (2.50)	1.54 (2.55)
	東京	0.44kg-CO <sub>2</sub> /kWh	2.94 (5.73)	—	—	—	—	—	—	—
		0.40kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.93 (3.76)	2.16 (4.21)	2.41 (4.70)	2.87 (5.60)	—	—	—	—
		0.36kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.37 (2.67)	1.45 (2.83)	1.54 (3.00)	1.69 (3.30)	1.98 (3.86)	2.23 (4.35)	2.39 (4.66)	2.47 (4.82)
		0.32kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.01 (1.97)	1.04 (2.03)	1.08 (2.10)	1.13 (2.20)	1.22 (2.38)	1.29 (2.52)	1.34 (2.61)	1.38 (2.69)
	鹿児島	0.44kg-CO <sub>2</sub> /kWh	2.91 (5.90)	—	—	—	—	—	—	—
		0.40kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.9 (3.86)	2.15 (4.36)	2.45 (4.97)	—	—	—	—	—
		0.36kg-CO <sub>2</sub> /kWh	1.34 (2.72)	1.43 (2.90)	1.54 (3.13)	1.73 (3.51)	2.13 (4.32)	2.61 (5.30)	2.73 (5.54)	2.74 (5.56)
		0.32kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—	1.02 (2.07)	1.07 (2.16)	1.13 (2.29)	1.22 (2.47)	1.35 (2.74)	1.39 (2.82)	1.4 (2.83)

次にガスの排出原単位が改善された場合に傾向がどのように変化するかを考える。図 5.28 にガスの排出原単位が改善される前と改善された後（改善割合を 10%とする）の場合についてそれぞれ家庭用燃料電池の発電効率が変化した場合に家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなる HP 給湯器の HP の現状比を示した。表 5.12 には図 5.28 を数値化したものを示し、さらに HPCOP の現状比に対応するシステム COP を示した。条件としては地域を「東京」として系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を「0.32kg-CO<sub>2</sub>/kWh」とした。

図 5.28 からガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が 10%改善されることで改善前と比較して HP 給湯器の HPCOP がより向上しなければいけなくなっていることが見て取れる。例えば、家庭用燃料電池の発電効率が 33%の時で家庭用燃料電池と HP 給湯器の CO<sub>2</sub> 排出量が等しくなるのはガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合が 0%の時では HPCOP の現状比が 1.01 なのに対してガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善割合が 10%の時では HPCOP の現状比は 1.32 となる（年間平均のシステム COP に換算するとそれぞれ 1.97 と 2.57）。このようにガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が改善されることでガスを利用する家庭用燃料電池の環境性能が HP 給湯器に対してより優位になるようになる。

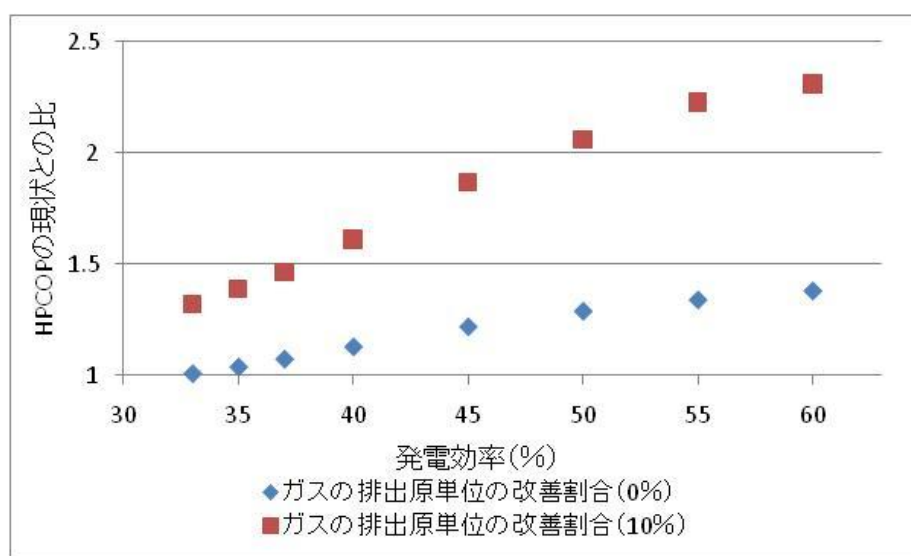


図 5.28 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレークイーブンの変化

表 5.12 ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化による家庭用燃料電池と HP 給湯器のブレークイーブンの変化

		発電効率 (%)							
		33	35	37	40	45	50	55	60
HPCOPの現状との比 (下段の括弧内は対応するシステムCOP)	ガスの排出原単位の改善割合 (0%)	1.01 (1.97)	1.04 (2.03)	1.08 (2.10)	1.13 (2.20)	1.22 (2.38)	1.29 (2.52)	1.34 (2.61)	1.38 (2.69)
	ガスの排出原単位の改善割合 (10%)	1.32 (2.57)	1.39 (2.71)	1.47 (2.86)	1.61 (3.14)	1.87 (3.65)	2.06 (4.02)	2.23 (4.35)	2.31 (4.50)

## 5.6 家庭用燃料電池の性能向上時による自然エネルギー導入効果

家庭用燃料電池については、第 4 章に示したように家庭の電力需要量と給湯需要量の比に経済性、環境性が影響しやすい。そのことが影響し、5.3 節における家庭用燃料電池の発電効率の変化による感度分析によって家庭の需要量が一定であるならば、発電効率が変わってもある一定の発電効率を超えると経済性、環境性の変化が鈍化することを示した。このことから機器の性能に合わせて最適な家庭の電力需要量と給湯需要量の比も変化することが分かる。

家庭用燃料電池に自然エネルギー機器を導入させた場合、太陽熱温水器であれば熱供給量が増えることから家庭用燃料電池で満たさなければいけない給湯需要量は減ることとなる。太陽光発電であれば系統に逆流させる（余剰電力として売却する）分があることから、太陽光発電で発電した電力量の全てではないが、電力供給量が増えることによって家庭用燃料電池で満たさなければいけない電力需要量は減ることとなる。このように自然エネルギー機器を導入することは家庭用燃料電池で満たす電力需要量と給湯需要量の比に影響を与えることから、本節では自然エネルギー機器の導入によって家庭用燃料電池の発電効率の向上した際の CO<sub>2</sub> 排出量にどのような影響を与えるかを評価する。

図 5.29、表 5.13 に家庭用燃料電池の発電効率が向上した際に CO<sub>2</sub> 排出量がどのように変化するかを「付属機器なし」、「太陽光発電導入」、「太陽熱温水器導入」の 3 つに分けて示した。今回、対象とした地域は「東京」である。

図 5.29、表 5.13 から、いずれの場合であっても家庭用燃料電池の発電効率が向上することで CO<sub>2</sub> 排出量は削減される傾向にあることは分かる。しかし、CO<sub>2</sub> 排出量の減少効果が小さくなる家庭用燃料電池の発電効率についてはそれぞれ特徴がある。「付属機器なし」の場合については、家庭用燃料電池の発電効率が 50%以降で、「太陽光発電導入」の場合については家庭用燃料電池の発電効率が 45%以降で、「太陽熱温水器導入」の場合については家庭用燃料電池の発電効率が 55%以降で CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が鈍化している。

特に、「太陽光発電」については家庭用燃料電池の発電効率が 50%以上になると逆に CO<sub>2</sub> 排出量が増加してしまうという結果が示された。図 5.30 に太陽光発電導入時における電力供給量の内訳を家庭用燃料電池の発電効率別に示した。この図から、家庭用燃料電池の発電効率が 45%を超えたあたりから家庭用燃料電池による発電量が減り、逆に太陽光発電の電力利用量が増えていることが分かる。これは費用最小化運転モデルにおいては家庭用燃料電池の発電効率が高くなるにつれて、家庭用燃料電池による発電で家庭電力の需要を満たして太陽光発電を余剰電力として売却するより、太陽光発電を利用して家庭の電力需要を満たす方が経済性に優れているためであると考えられる。太陽光発電を自家消費する量が増えれば、逆流分の CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が少なくなってしまう。このため、「太陽光発電導入」の場合については家庭用燃料電池の発電効率が 50%以上になると CO<sub>2</sub> 排出量は

増加してしまう。

太陽熱温水器に関しては先ほど述べたように CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果が鈍化するの是最も遅い。家庭用燃料電池の発電効率が 33%と低い時は熱回収率が 47%と十分に高いものであったことから、家庭用燃料電池は給湯需要量を満たすことを優先して稼働することでコージェネレーションの強みを十分に発揮していた。しかし、太陽熱温水器を導入すると家庭用燃料電池によって満たす給湯需要量が減ってしまい、コージェネレーションの強みが若干失われていた。しかし、太陽熱温水器を導入していない場合では家庭用燃料電池の発電効率が向上すると熱回収率は低下してしまう。そのため、補助熱源機を使わずに家庭燃料電池で給湯需要を満たすのことは電力の過剰供給につながり、非効率的となってしまう。それに対して太陽熱温水器を導入した場合においては家庭用燃料電池の発電効率が向上し、熱回収率が低下した場合でも太陽熱温水器で給湯需要量を満たすことができるので家庭用燃料電池はコージェネレーションの強みを十分に発揮できることから家庭用燃料電池の稼働量を増やすことができる。図 5.31 に家庭用燃料電池の発電効率別に家庭用燃料電池による発電量を示した。家庭用燃料電池の発電効率が現状の 33%においては「付属機器なし」、「太陽光発電導入」の場合と比較して、「太陽熱温水器導入」の際の家庭用燃料電池の発電量は少なくなっているが、家庭用燃料電池の発電効率が向上することで「付属機器なし」、「太陽光発電導入」の場合と比較して「太陽熱温水器導入」の場合に家庭用燃料電池の発電量が大きく増えていることが分かる。このことから家庭用燃料電池の発電効率が向上した場合、自然エネルギーとしては太陽熱温水器を導入する効果は極めて大きいと言える。

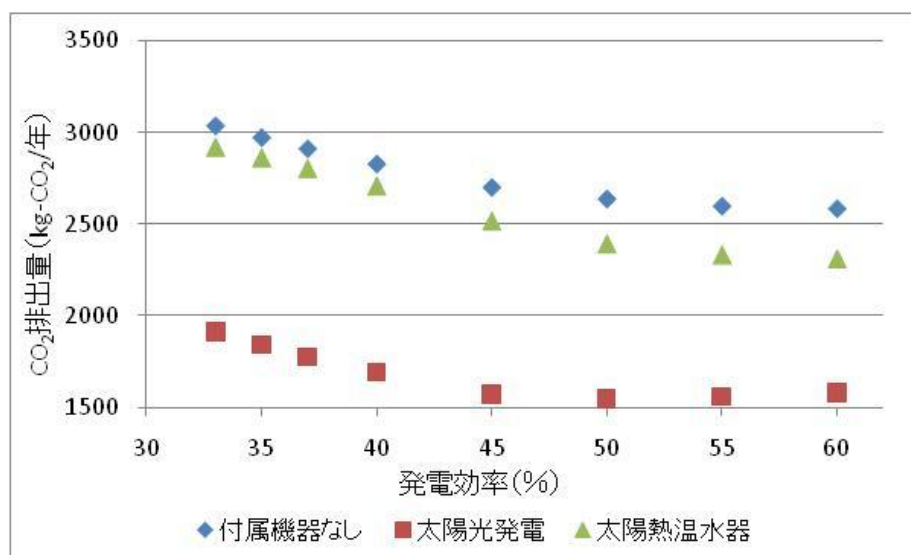


図 5.29 家庭用燃料電池の発電効率の向上による CO<sub>2</sub> 排出量の変化



表 5.13 家庭用燃料電池の発電効率の向上による CO<sub>2</sub> 排出量の変化

		発電効率(%)							
		33	35	37	40	45	50	55	60
CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /年)	付属機器なし	3040	2975	2914	2830	2702	2639	2599	2585
		100.0%	97.9%	95.9%	93.1%	88.9%	86.8%	85.5%	85.0%
	太陽光発電	1913	1842	1774	1691	1572	1549	1560	1579
		100.0%	96.3%	92.7%	88.4%	82.2%	81.0%	81.5%	82.6%
	太陽熱温水器	2916	2859	2800	2705	2514	2391	2330	2308
		100.0%	98.1%	96.0%	92.8%	86.2%	82.0%	79.9%	79.2%

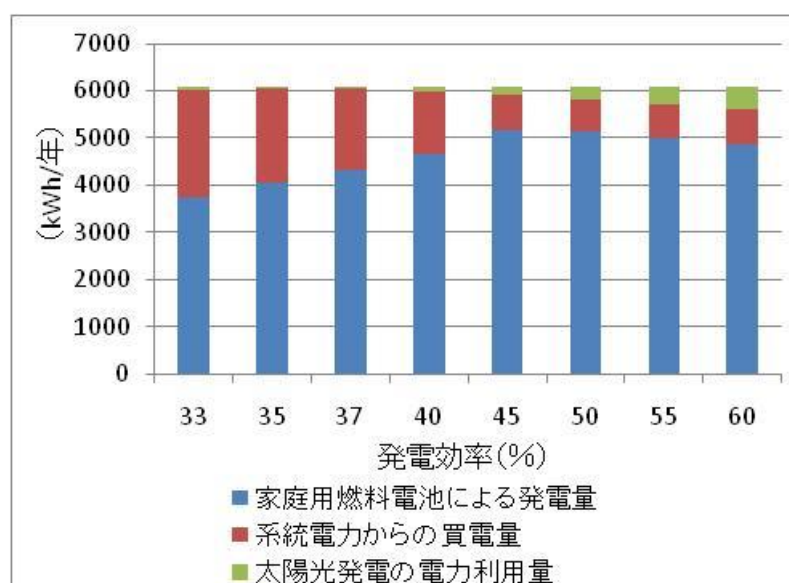


図 5.30 太陽光発電導入時における電力供給量の内訳

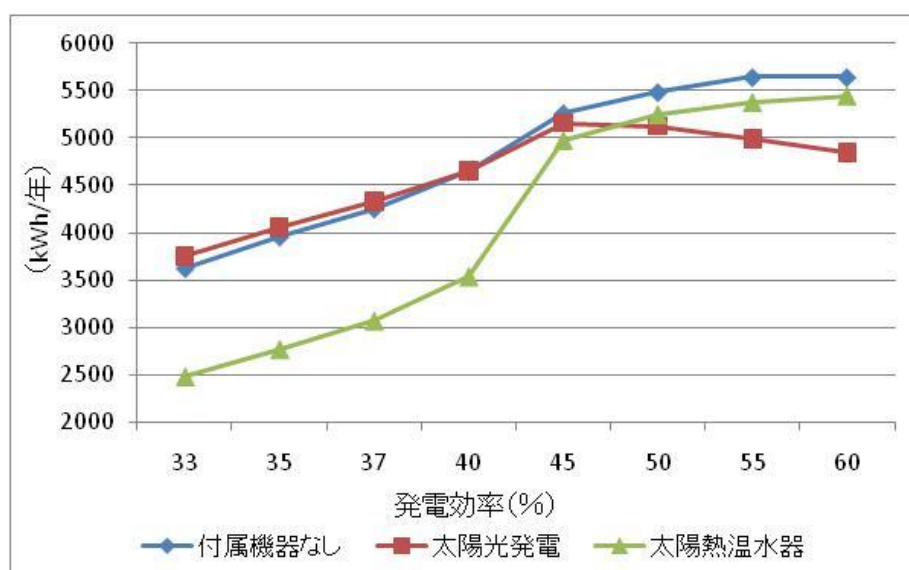


図 5.31 家庭用燃料電池による発電量

## 5.7 まとめ

第5章では中長期的なシステム評価を行い、中長期的な時間軸でより効果的となるCO<sub>2</sub>排出削減方法を提案するために様々な視点から感度分析を行った。

まず5.2節の貯湯槽の放熱ロスの感度分析からは、貯湯槽の蓄熱性の向上はHP給湯器のランニングコスト、CO<sub>2</sub>排出量の削減に非常に効果的であることが分かった。

5.3節の家庭用燃料電池、HP給湯器の性能向上の感度分析からは家庭用燃料電池においては発電効率が上がることでランニングコスト、CO<sub>2</sub>排出量ともに削減できるが、家庭の電力需要量と給湯需要量の比によってその削減効果が影響されることが示された。HP給湯器に関しては、機器の効率向上がそのままランニングコスト、CO<sub>2</sub>排出量の削減につながることを示された。

5.4節の系統電力とガスのCO<sub>2</sub>排出原単位の感度分析からは系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されることでHP給湯器のCO<sub>2</sub>排出量削減効果が大きくなり、ガスのCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されることで家庭用燃料電池のCO<sub>2</sub>排出量削減効果が大きくなることを示された。

5.5節のブレークイーブンでは様々な条件下においてCO<sub>2</sub>排出量が等しくなる点を求めた。5.5.1項では系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されてもガスのCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されれば従来型給湯器、潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池がHP給湯器とCO<sub>2</sub>排出量が等しくなる系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が小さくなり、系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が低下するというHP給湯器が優位になる場合にあってもガスのCO<sub>2</sub>排出原単位が向上すればガス給湯器の優位性を保つことができるということを示した。5.5.2項では系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が変化することで家庭用燃料電池、HP給湯器の効率がどれだけ向上しなければいけないかを示したが、HP給湯器に関しては系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されることは大幅な機器の効率の性能の向上と同等の効果を持っていることが示された。家庭用燃料電池に関してはHP給湯器と異なり、ガスのCO<sub>2</sub>排出原単位が改善されることによって家庭用燃料電池の性能向上と同様の効果があり、ガスのCO<sub>2</sub>排出原単位の改善は重要であることが示された。5.5.3項では家庭用燃料電池とHP給湯器の性能向上時におけるブレークイーブンを求めたが系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位のみが向上した場合には技術革新時にはHP給湯機の方が環境面で優位になる可能性が高いことが示された。系統電力だけではなく、同時にガスのCO<sub>2</sub>排出原単位も改善されるのであれば系統電力のCO<sub>2</sub>排出原単位が向上したとしても家庭用燃料電池の環境性の優位性を保ちやすいという結果が得られた。

5.6節では自然エネルギー導入時における家庭用燃料電池の性能向上の感度分析を行い、家庭用燃料電池の発電効率が向上した際には太陽熱温水器と組み合わせることで家庭用燃料電池のコジェネレーションの強みが活かされるということが示された。

以上のことから、まず、給湯機器の効率を上げることでCO<sub>2</sub>排出量の削減につながることを示されたと言える。しかし、給湯機器がエネルギーを利用して稼働する以上、系統電

力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の改善も CO<sub>2</sub> 排出量の削減を考える上で非常に重要であることが分かった。さらに、系統電力、ガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位が変化することで、各給湯器の環境性の優位性が大きく変化することが示された。このことから効果的な CO<sub>2</sub> 排出量の削減を考えるためには系統電力、ガスというインフラの変化を考慮し、より相性の良い機器の導入を目指すことが良いと言える。

表 5.14 まとめ

	家庭用燃料電池	HP給湯器
放熱ロスの改善効果	小さい	大きい
機器の性能向上	需要家の需要構造によるものの削減効果あり	需要家の需要構造によらず削減効果あり
系統電力の原単位改善	小さい	大きい
ガスの原単位改善	大きい	ない
備考	発電効率上昇時に太陽熱温水器との相性が良い	—

## 第6章 結論

### 6.1 本研究で得られた成果と考察

本研究では、家庭の給湯における CO<sub>2</sub> 排出量削減効果について着目して、費用最小化運転モデルを用いて様々な観点からシステム評価を行い、現状のシステム評価についてはあらゆる需要家や温熱快適性を考慮してシステム評価を行い、また、自然エネルギー機器の導入効果についても評価した。さらに、様々な感度分析を行うことで中長期的な視点でのシステム評価を行い、効果的な CO<sub>2</sub> 排出量削減方法を示した。

第 2 章ではライフスタイルや居住地など様々な需要家を考慮したエネルギー需給のモデルを構築した。また、家庭用燃料電池の部分負荷運転の考慮、HP 給湯器の HPCOP の重回帰式による推定などを行うことで機器の性能をより詳細に設定した。

第 3 章では第 2 章で作成したエネルギー需給モデルを利用してシミュレーションを行う条件設定をした。その際、経済性、環境性など様々な観点から本シミュレーションが現実整合性を有しているかを十分に検証し、本シミュレーションの現実整合性を示した。

第 4 章では作成したエネルギー需給モデルを利用して様々な需要家に対して現状のシステム評価を行い、どのような条件下において家庭用エネルギー機器の一長一短があるかを経済性、環境性の面から定量的に示した。

第 5 章では系統電力やガスの CO<sub>2</sub> 排出原単位の変化、機器の性能の向上の感度分析などを行うことで中長期的なシステム評価を行い、中長期的な時間軸でより効果的となる CO<sub>2</sub> 排出削減方法を提案した。

以上によって、家庭における給湯部門で有効な中長期を想定した CO<sub>2</sub> 排出量削減方法が提案することができた。この提案によって今後の CO<sub>2</sub> 排出削減活動がより活発になることを期待する。

## 6.2 今後の展望

今後の展望としては HPCOP の重回帰式を求めたことから、沸き上げ温度などを変えたりすることで沸き上げ温度を含めた HP 給湯器の費用最小化運転モデルを構築して、比較を行うことも良いであろう。

また、システム評価を行う際に今回は地域によらず、系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位は一定のものを利用したが、より地域別の特色の差を出すために各地方の電力会社の CO<sub>2</sub> 排出原単位を利用してより地位差を明確にしてもいいだろう。

今回、費用最小化運転モデルによって評価を行ったが、CO<sub>2</sub> 排出量最小化運転モデルなど最小とする目的関数をコスト以外にした運転モデルにした場合にどのような変化を起きるかを定量的に評価するのも面白いと考えられる。

## 付録

①世帯構成別、地域別、住宅の断熱基準別、朝型、夜型の生活スタイル別に暖房手法別の空調負荷量を図に示す。

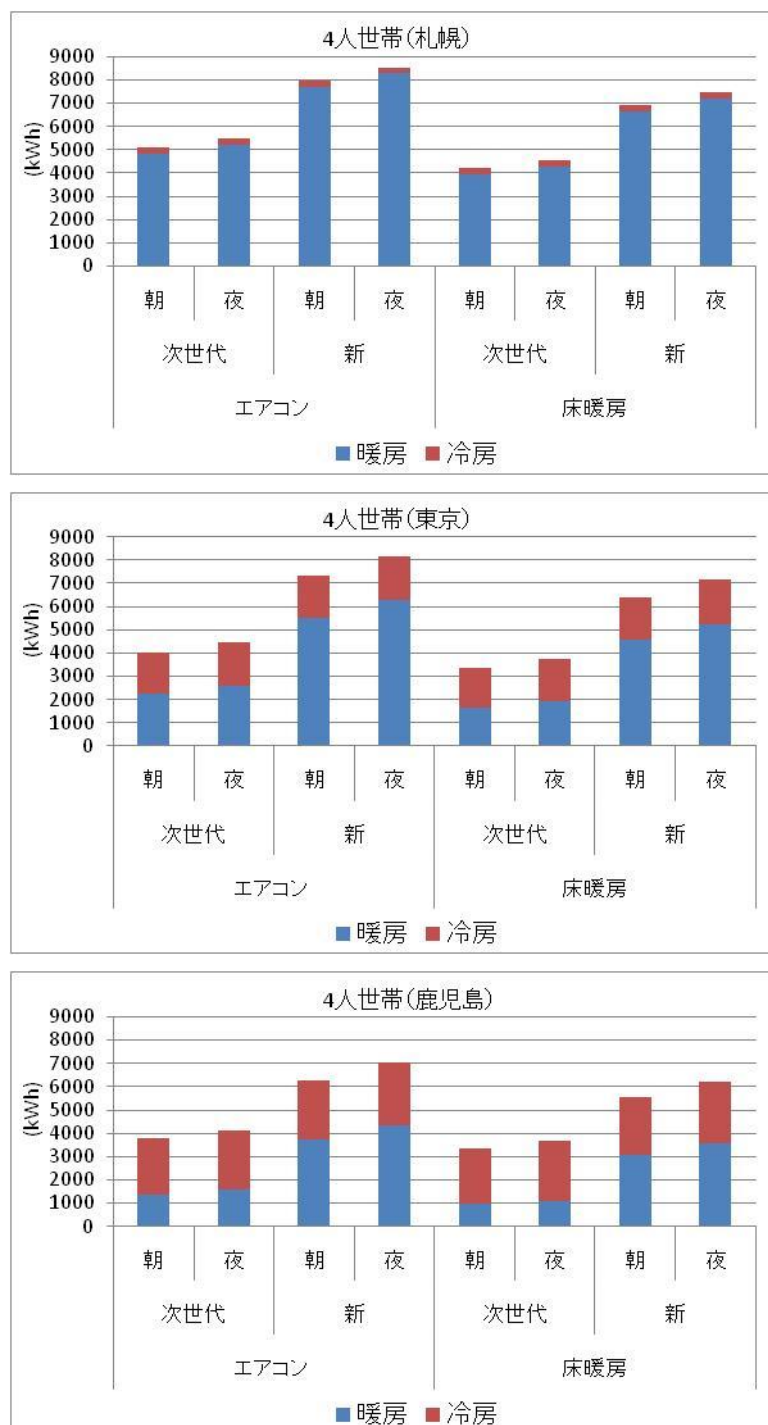


図1 4人世帯の空調負荷量

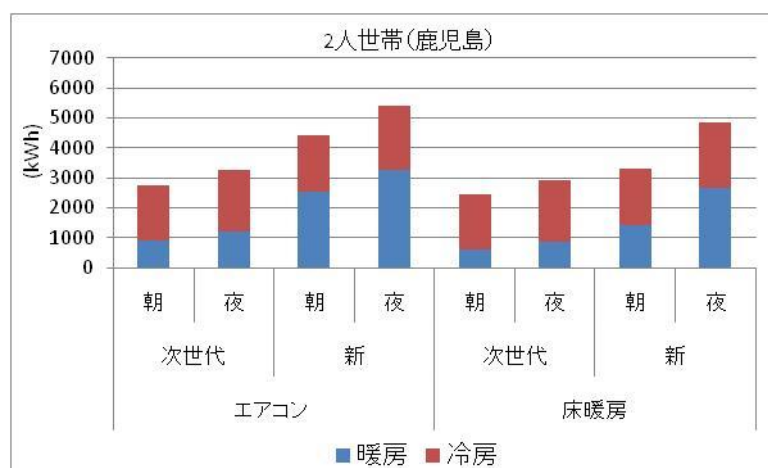
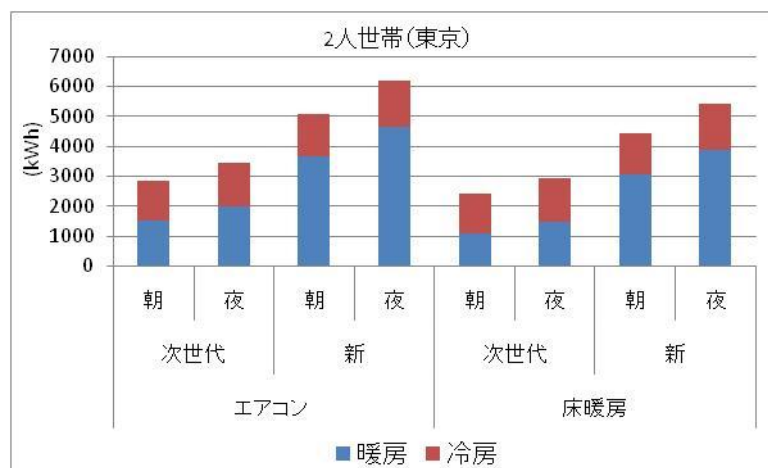
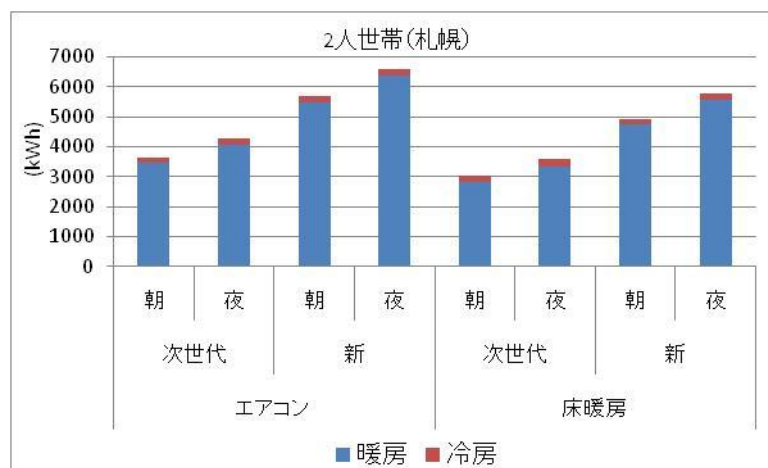


図2 2人世帯の空調負荷量

## 参考文献

- [1] 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省、IPCC 第 4 次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約（仮約）、<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/interim-j.pdf>、2010 年 12 月 27 日
- [2] 経済産業省 資源エネルギー庁、エネルギー基本計画、  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/kihonkeikaku/100618honbun.pdf>、2010 年 12 月 27 日
- [3] 独立行政法人 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス、日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2008 年度）確定値、  
<http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>、2010 年 12 月 27 日
- [4] 日本エネルギー経済研究所、EDMC／エネルギー・経済統計要覧（2007 年版）、2007、P.93
- [5] 河野孝史、一般生活者の行動パターンに基づく住宅用エネルギーシステムの研究、東京大学、2005
- [6] 榎堀都、温熱快適性と省エネ行動を考慮した家庭用高効率エネルギー機器導入に関する研究、東京大学、2008
- [7] 池谷知彦、高橋徹、西尾健一郎、浅野浩志、需要特性および系統電力の CO<sub>2</sub> 排出原単位を考慮した家庭用高効率給湯システムの CO<sub>2</sub> 排出削減効果の評価、電力中央研究所、2010
- [8] 日本放送出版協会、NHK 放送文化研究所編、データブック国民生活時間調査 2000《全国》、2001
- [9] 佐藤春樹、冷蔵庫・エアコンの実際の電力消費量推定法、第 4 回住宅エネルギーシンポジウム、日本建築学会、2005
- [10] 財団法人建築環境・省エネルギー機構、SMASH for Windows Ver. 2 ユーザーマニュアル
- [11] 浦野良美、中村洋編著、建築環境工学第 1 版第 9 刷、2005
- [12] 宇田川、標準問題の提案住宅用標準問題、日本建築学会環境工学委員会熱分科会第 15 回熱シンポジウム
- [13] 三村拓矢、北山広樹、村川三郎、濱田靖弘、鍋島美奈子、高田宏、住宅用貯湯式給湯システムの機器稼働実態と性能評価に関する研究 その 13 CO<sub>2</sub> ヒートポンプ給湯器（08 年モデル）の機器稼働実態、第 29 回エネルギー・資源学会研究発表会、2010
- [14] 気象庁、過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>、2010 年 12 月 27 日
- [15] 東京電力、電気料金メニュー、



- <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/index-j.html>、2010 年 12 月 28 日
- [16] 東京ガス、ガス料金表(家庭用/業務用・工業用 共通)、  
<http://e-com.tokyo-gas.co.jp/ryokin/Default.aspx?tik=1>、2010 年 12 月 28 日
- [17] 電事業連合会、電気事業のデータベース (INFOBASE)、  
[http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/info\\_h.pdf](http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/info_h.pdf)、2010 年 12 月 28 日
- [18] 総務省統計局、国勢調査平成 12 年第 1 次基本集計結果  
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2000/kihon1/00/12.htm>、2011 年 1 月 3 日
- [19] 財団法人 省エネルギーセンター、家庭で使用する電力の用途別使用量(2003 年度)、  
[http://www.eccj.or.jp/pamphlet/living/06/02\\_2.html](http://www.eccj.or.jp/pamphlet/living/06/02_2.html)、2011 年 1 月 3 日
- [20] 総務省、家計調査 (2008 年)、<http://www.stat.go.jp/data/kakei/index.htm>、2011 年 1 月 5 日
- [21] 総務省、平成 17 年国勢調査、<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>、2011 年 1 月 5 日
- [22] 東京電力、サステナビリティレポート 2010、  
<http://www.tepco.co.jp/csr/report/download/2010/10report.pdf>、2011 年 1 月 8 日
- [23] 吉田好邦、生活者の行動のばらつきを考慮した住宅用エネルギー供給システムの CO<sub>2</sub> 排出特性の分析、「日本エネルギー学会誌」第 87 巻 第 12 号 (1000~1018) 別冊、2008
- [24] 東京電力、東京電力グループ 中長期成長宣言 2020 ビジョン、  
<http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/company/philosophy/vision2020/plan/plan01-j.html>、2011 年 1 月 10 日

## 謝辞

本論文の作成にあたり、担当教員の吉田好邦准教授には深く感謝いたします。吉田先生には大学4年の時から3年という長い間、私の研究を見ていただきました。この3年間、先生と研究に関して議論をしていく中で様々な知識が身に付いたり、研究の方向性が見えたり、非常に有意義な時間ではありました。そうした議論の積み重ねによって研究を順調に進めることができ、修士論文を完成させることができました。また、自由な環境で研究活動をさせてくれたおかげで自主的に行動する力が身に付き、人として大きく成長することができたと思います。本当に吉田先生には感謝の気持ちで一杯です。

また、松橋隆治教授にも研究が行き詰った時にアドバイスを頂き、研究で壁にぶつかった時に乗り越えるヒントを多くいただきました。一つ一つのアドバイスが的確であり、研究を進めていく上で松橋先生との議論は大変貴重なものでありました。深く感謝いたします。

松橋・吉田研究室の皆さまにも大変お世話になりました。楽しい時はみんなで一緒に笑い、辛い時にはみんなで助け合い、修士論文の執筆という辛い作業もみんなと明るく楽しく終わらせることができました。本当にいいメンバーに恵まれたと感じています。

また、本研究を進めるに当たって日本ガス協会の皆さまからは様々な情報やデータを教えていただき、本当に感謝しております。

最後に、私が悔いのない学生生活を送れるようにと長い学生生活を影で支え続けてくれた家族に心から感謝いたします。