

第4章 低炭素都市評価技術の開発

4.1 目的

水素等技術を都市に導入した場合の二酸化炭素削減等の効果を知るには、対象地域の建物の用途・設備構成（機器効率等を含む）、各建物の電力、熱等の需要、都市エネルギーシステムのエネルギー計算、初期・運用時の経済性について一連の評価を行うための技術開発が必要である。また、社会普及が見込まれる水素等技術の価格設定や機器効率等について将来予測を含めた幅広い考察が望まれる。第4章の目的は、都市エネルギーシステムの評価プログラムを作成し、様々な都市が最適解としての水素社会に段階的に移行する際の経済性、環境性について定量的に検討を行うことである。

本章で取り組む内容について以下に概要を示す。

(1) 地域エネルギー消費等実態調査

建物のエネルギー消費等の実態把握のため、電気・熱需要量の既往調査の整理等を実施するとともに、水素エネルギーの将来の生成源とも目される自然エネルギーの地域賦存量データベースを構築する。

(2) 低炭素都市評価システムの開発

都市エネルギーシステムの評価を行う「低炭素都市評価システム」は2つのモデル（街区空調負荷モデル、都市CO₂計量評価モデル）から構成される。街区空調負荷モデルは各建物の冷暖房需要を伝熱解析から求めるものであり、都市CO₂計量評価モデルは水素等技術による二酸化炭素削減効果等をシステム解析で定量化するものである。各モデルの説明を行うとともに、水素シナリオを適用した計算事例を紹介する。

4.2 地域エネルギー消費等実態調査

都市エネルギーシステムの評価にあたっては、その基本条件となる地域における様々な建物のエネルギー需要量を把握することが重要である。また、再生可能エネルギーを利用することを想定した場合には、再生可能エネルギーの源となる自然エネルギーの賦存量を把握することが重要である。

ここでは、既往研究による建物エネルギーの需要量調査、エネルギー使用実態が十分に把握されていない集合住宅の共用部のエネルギー消費に関する調査および地域別の自然エネルギーの賦存量調査を実施した。

4.2.1 文献調査による建物エネルギー需要原単位の整備

(1) 建物エネルギー需要原単位の整備

ここでは、既往調査で行われた用途別建物の電力・冷房・給湯需要に関する床面積あたりの最大需要原単位と年間需要原単位ならびに月別・時刻別需要変動パターンの実態を調査整理し、建物エネルギー消費の実態を把握した。

表 4.1 に調査対象データと既存知見の概要を示す。

本プロジェクトで開発する CO₂ 計量プログラムには、調査期間が長く、多くの建物用途別に電力・冷房・暖房・給湯に関するデータが需要原単位、月別変動、時刻別変動が整理されているリスト No1 の一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構（以下、「IBEC」）により実施された調査によって収集整理されたデータを実装することとした。本調査結果は、「コンパクトエネルギーシステム開発研究」（1983～1984 年）ならびに「都市再開発コージェネシステム研究」（1986～1991 年）において収集整理されたデータであり、元々地域熱供給システムの計画用としてまとめられたものである。電力需要原単位には、電動ターボ冷凍機や電動ヒートポンプなどの冷暖房用熱原動力が除かれているところに特徴がある。

表 4.2～4.5 に CO₂ 計量プログラムに実装した IBEC データによる業務施設、商業施設、宿泊施設、医療施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンを示す。

表 4.1 調査対象データと既存知見の概要

リストNO.	既存知見概要	建物用途	整理データ種別		
			需要原単位	月別需要変動	時刻別需要変動
NO.1	IBEC(建築環境・省エネルギー機構)データ (1983~1984、1986~1991)	業務、商業、宿泊、医療、集合住宅	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.2	NIRA(総合研究開発機構)データ (1985)	業務、商業、宿泊、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、給湯
NO.3	JGA-1(日本ガス協会)データ (1990)	業務、商業、宿泊、医療	冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.4	東京都データ (1991)	業務、商業、宿泊、医療、文化、教育、地下鉄	冷房、暖房、給湯	冷房、暖房(一部)、給湯(一部)	冷房、暖房(一部)、給湯(一部)
NO.5	SHASE-1(空地調和・衛生工学会)データ (1994)	業務、商業、宿泊、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.6	SHASE-2(空地調和・衛生工学会)データ (2005)	医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.7	JGA-2(日本ガス協会)データ (2008、2009)	業務テナント、業務自社庁舎、商業百貨店、商業センター、宿泊シティホテル、宿泊ビジネスホテル、医療	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯	電力、冷房、暖房、給湯
NO.8	国総研(国土技術政策総合研究所)データ (2005~2007)	業務(平/休日)、業 業物販、商業スー パー、宿泊(平/休 日)、医療(平/休 日)	電力、給湯	電力、給湯	電力、給湯

表 4.2 業務施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

1)業務施設

①需要原単位

	最大	年間
冷房	335 kJ/m ² ・h	268 MJ/m ² ・年
暖房	251 kJ/m ² ・h	126 MJ/m ² ・年
給湯	21 kJ/m ² ・h	10.5 MJ/m ² ・年
電力	45 W/m ²	100 kWh/m ² ・年

②月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	100	89
2	0	90	99	84
3	0	61	93	96
4	0	29	82	93
5	33	0	74	84
6	82	0	72	100
7	95	0	65	98
8	100	0	54	100
9	65	0	59	89
10	0	0	73	91
11	0	39	86	90
12	0	80	95	90
計	375	399	952	1104

③季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
2	5	10	25	25	10	5	25	10	5	9	9	9
3	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
4	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
5	5	10	25	25	10	5	25	10	5	9	9	9
6	5	10	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
7	5	24	25	25	10	5	25	10	5	11	11	11
8	45	60	80	50	50	50	50	50	50	41	41	41
9	95	95	95	100	100	100	100	100	100	54	54	54
10	90	90	90	99	99	99	99	99	99	80	80	80
11	90	90	90	99	99	99	99	99	99	93	93	93
12	100	100	100	89	89	89	89	89	89	93	93	93
13	100	100	100	95	95	95	95	95	95	86	86	86
14	100	100	100	73	73	73	73	73	73	93	93	93
15	90	90	90	73	73	73	73	73	73	100	100	100
16	100	100	100	73	73	73	73	73	73	93	93	93
17	91	91	91	68	68	68	68	68	68	93	93	93
18	84	84	84	71	71	71	71	71	71	86	86	86
19	24	30	50	48	48	48	48	48	48	74	74	74
20	18	19	42	28	28	28	28	28	28	47	47	47
21	11	10	33	25	10	29	25	10	29	42	42	42
22	5	10	25	25	10	5	25	10	5	12	12	12
23	5	10	25	25	10	5	25	10	5	8	8	8
24	5	10	25	25	10	5	25	10	5	8	8	8
計	1088	1173	1395	1241	1076	1045	1241	1076	1045	1176	1176	1176

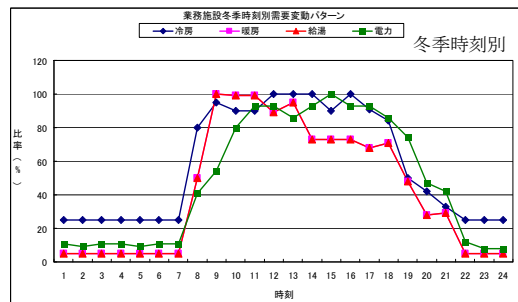
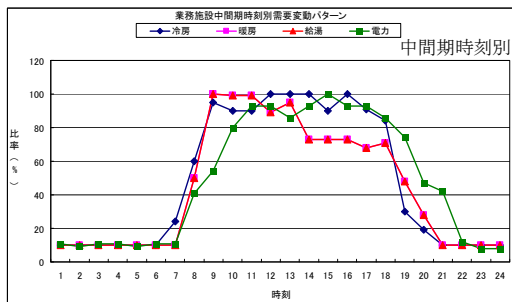
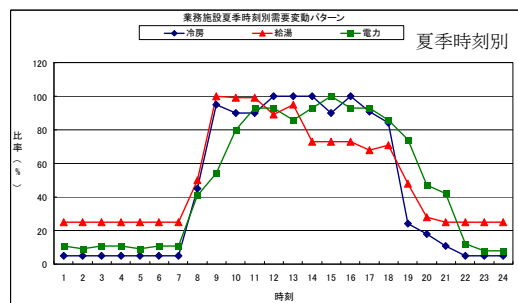
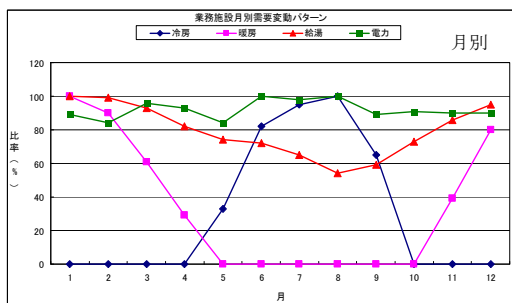


表 4.3 商業施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

2) 商業施設

① 需要原単位

	最大	年間
冷房	502 kJ/m ² ・h	502 MJ/m ² ・年
暖房	251 kJ/m ² ・h	75 MJ/m ² ・年
給湯	42 kJ/m ² ・h	21 MJ/m ² ・年
電力	80 W/m ²	210 kWh/m ² ・年

② 月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	98	89
2	0	76	100	72
3	0	27	76	78
4	11	0	67	79
5	32	0	54	87
6	61	0	62	91
7	98	0	51	100
8	100	0	50	96
9	75	0	48	95
10	36	0	51	91
11	11	0	67	81
12	0	48	100	73
計	424	251	824	1032

③ 季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
9	0	0	0	8	8	8	0	0	0	14	14	14
10	22	22	22	87	87	87	100	100	100	40	40	40
11	100	100	100	100	100	100	29	29	29	98	98	98
12	82	82	82	90	90	90	31	31	31	82	82	82
13	74	74	74	81	81	81	39	39	39	79	79	79
14	85	85	85	63	63	63	44	44	44	88	88	88
15	78	78	78	64	64	64	50	50	50	98	98	98
16	85	85	85	62	62	62	25	25	25	96	96	96
17	67	67	67	54	54	54	25	25	25	96	96	96
18	82	82	82	59	59	59	21	21	21	100	100	100
19	45	45	45	57	57	57	36	36	36	71	71	71
20	41	41	41	16	16	16	32	32	32	52	52	52
21	26	26	26	11	11	11	35	35	35	42	42	42
22	0	0	0	0	0	0	2	2	2	21	21	21
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	7
計	787	787	787	752	752	752	469	469	469	1047	1047	1047

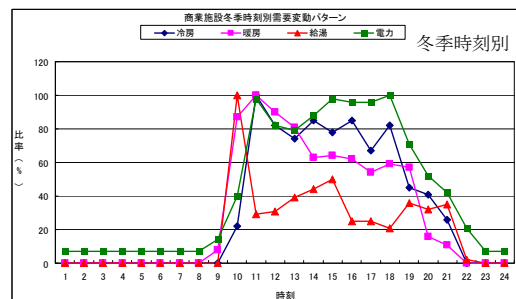
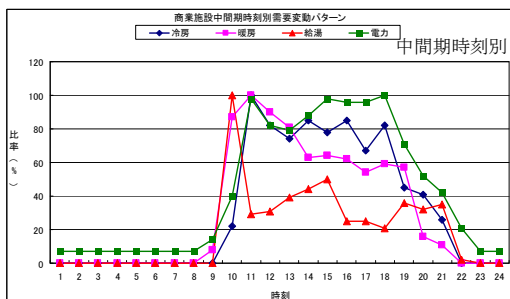
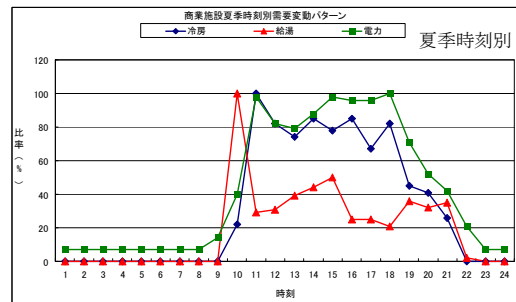
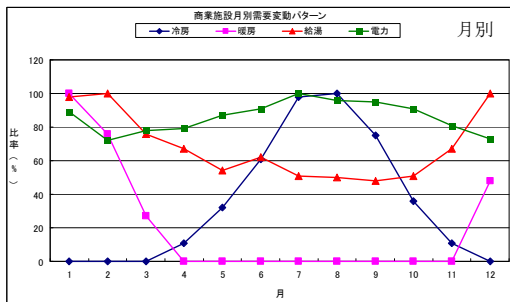


表 4.4 宿泊施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

3) 宿泊施設

① 需要原単位

	最大	年間
冷房	251 kJ/m ² ・h	251 MJ/m ² ・年
暖房	335 kJ/m ² ・h	402 MJ/m ² ・年
給湯	105 kJ/m ² ・h	52 MJ/m ² ・年
電力	45 W/m ²	135 kWh/m ² ・年

② 月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	98	100	89
2	0	100	99	72
3	0	42	93	78
4	11	28	82	79
5	36	0	83	87
6	56	0	66	91
7	79	0	61	100
8	100	0	61	96
9	67	0	60	95
10	28	0	69	91
11	0	26	86	81
12	0	79	95	73
計	377	373	955	1032

③ 季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	57	58	0	56	56	56	56	56	56	42	42	42
2	33	33	0	56	56	56	56	56	56	40	40	40
3	42	42	0	57	57	57	57	57	57	38	38	38
4	40	40	0	57	57	57	57	57	57	34	34	34
5	42	42	0	57	57	57	57	57	57	29	29	29
6	18	18	0	57	57	57	57	57	57	29	29	29
7	30	30	0	57	57	57	57	57	57	31	31	31
8	51	51	0	57	57	57	57	57	57	38	38	38
9	42	42	0	89	89	89	89	89	89	45	45	45
10	40	40	0	89	89	89	89	89	89	65	65	65
11	51	51	0	70	70	70	70	70	70	80	80	80
12	78	78	0	70	70	70	70	70	70	80	80	80
13	100	100	0	100	100	100	100	100	100	85	85	85
14	66	66	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	88	88	0	89	89	89	89	89	89	91	91	91
16	55	55	0	89	89	89	89	89	89	95	95	95
17	85	85	0	91	91	91	91	91	91	89	89	89
18	66	66	0	91	91	91	91	91	91	95	95	95
19	75	75	0	95	95	95	95	95	95	94	94	94
20	66	66	0	95	95	95	95	95	95	82	82	82
21	81	81	0	69	69	69	69	69	69	78	78	78
22	45	45	0	69	69	69	69	69	69	69	69	69
23	60	60	0	98	98	98	98	98	98	58	58	58
24	60	60	0	98	98	98	98	98	98	54	54	54
計	1371	1372	0	1856	1856	1856	1856	1856	1856	1541	1541	1541

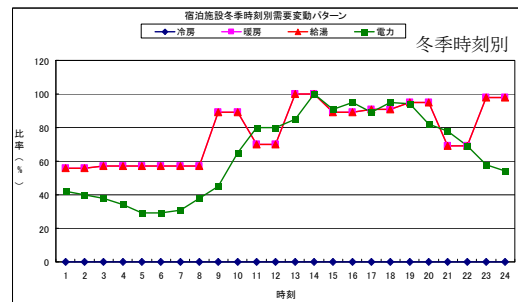
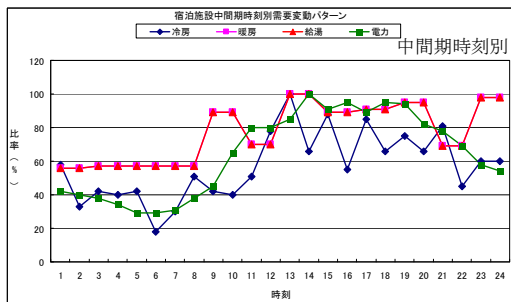
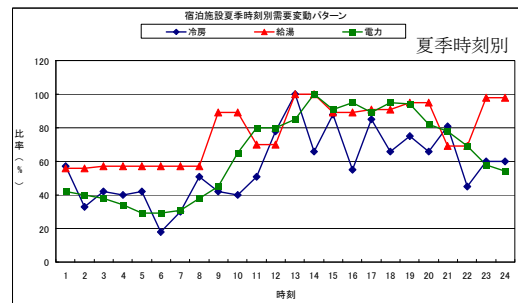
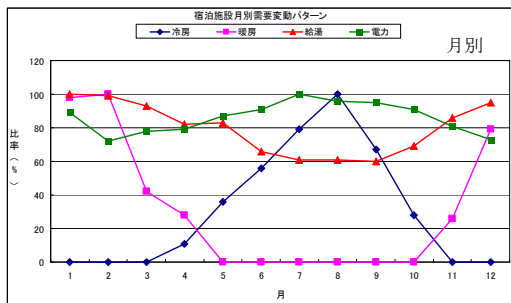


表 4.5 医療施設におけるエネルギー需要原単位と変動パターンデータ (IBEC データ)

4)医療施設

①需要原単位

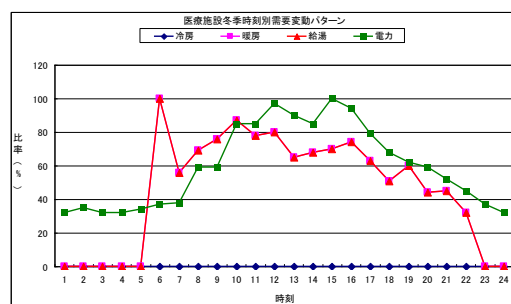
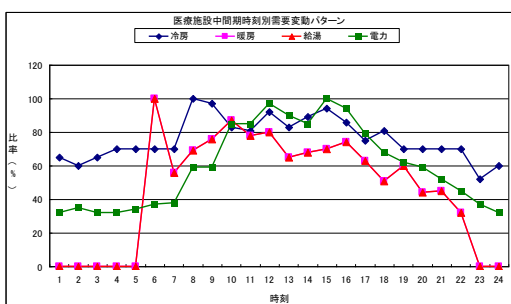
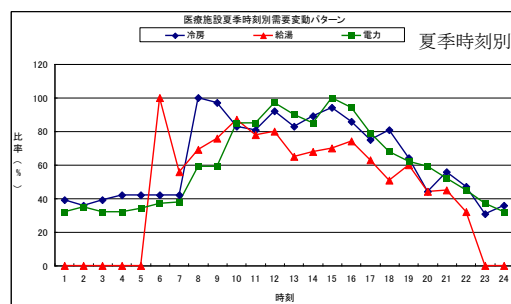
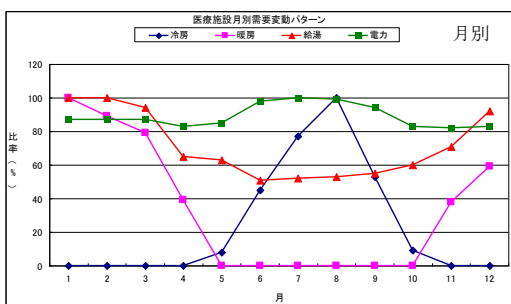
	最大	年間
冷房	419 kJ/m ² ・h	209 MJ/m ² ・年
暖房	544 kJ/m ² ・h	419 MJ/m ² ・年
給湯	377 kJ/m ² ・h	753 MJ/m ² ・年
電力	50 W/m ²	90 kWh/m ² ・年

②月別需要変動パターン

月	冷房	暖房	給湯	電力
1	0	100	100	87
2	0	89	100	87
3	0	79	94	87
4	0	39	65	83
5	8	0	63	85
6	45	0	51	98
7	77	0	52	100
8	100	0	53	99
9	53	0	55	94
10	9	0	60	83
11	0	38	71	82
12	0	59	92	83
計	292	404	856	1068

③季節別時刻別需要変動パターン

時間	冷房			暖房			給湯			電力		
	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期	夏期	中間期	冬期
1	39	65	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
2	36	60	0	0	0	0	0	0	0	35	35	35
3	39	65	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
4	42	70	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
5	42	70	0	0	0	0	0	0	0	34	34	34
6	42	70	0	0	100	100	100	100	100	37	37	37
7	42	70	0	0	56	56	56	56	56	38	38	38
8	100	100	0	0	69	69	69	69	69	59	59	59
9	97	97	0	0	76	76	76	76	76	59	59	59
10	83	83	0	0	87	87	87	87	87	85	85	85
11	81	81	0	0	78	78	78	78	78	85	85	85
12	92	92	0	0	80	80	80	80	80	97	97	97
13	83	83	0	0	65	65	65	65	65	90	90	90
14	89	89	0	0	68	68	68	68	68	85	85	85
15	94	94	0	0	70	70	70	70	70	100	100	100
16	86	86	0	0	74	74	74	74	74	94	94	94
17	75	75	0	0	63	63	63	63	63	79	79	79
18	81	81	0	0	51	51	51	51	51	68	68	68
19	64	70	0	0	60	60	60	60	60	62	62	62
20	44	70	0	0	44	44	44	44	44	59	59	59
21	56	70	0	0	45	45	45	45	45	52	52	52
22	47	70	0	0	32	32	32	32	32	45	45	45
23	31	52	0	0	0	0	0	0	0	37	37	37
24	36	60	0	0	0	0	0	0	0	32	32	32
計	1521	1823	0	0	1118	1118	1118	1118	1118	1428	1428	1428



(2) 住戸電力・給湯需要データに関する知見の整理

IBEC では、平成 14 年度から 17 年度にかけて「住宅用燃料電池の実用化に関する総合研究」を実施しており、住宅用燃料電池の実用化に向けて、導入効果の評価方法の確立、効果的な適用条件や適用方法の把握、法規制や設計・施工法など実際の導入における課題と対応策の検討を行っている（「住宅用燃料電池の導入に関する技術研究成果報告会資料」、平成 18 年 3 月、建築環境・省エネルギー機構）。この研究の中では、実際の住宅にモデル機を設置して、生活上のエネルギー需要に対する運転データの収集及び分析と、多様な家族形態、ライフスタイルに応じたエネルギー需要のデータ収集を併せて行っており、今後のシステム検討の基礎資料を整理している。この研究で実測した「住戸電力・給湯需要量」は、全国 24 箇所データのデータとして整理されている。本プロジェクトにて開発を行っている CO₂ 計量プログラムには、ここで整理されている 24 箇所のデータについて実装した。ここでの実測データとしては、同じ家族人数であっても、電力・給湯需要には大きな違いが見られ、電力・給湯需要バランスも世帯による違いが大きく、全般的に給湯需要より電力需要が大きいサイトが多く、熱電比（給湯需要÷電力需要）が 1 を超えるサイトは 4 サイトのみであり、多くは 0.5～1 に分布している。

4.2.2 地域エネルギー消費の現地調査

(1) 調査目的と調査対象

平成 18 年 4 月のエネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）の改正に伴い、2,000m² 以上の集合住宅においても省エネルギー計画の届出が義務付けられるようになったが、専用部と比べ共用部のエネルギー使用実態は必ずしも十分には把握されていないのが当時の状況であった。

国総研を中心としたこれまでの研究では、共用部の電力使用実態をおおまかに把握することができたが、使用量の非常に多い超高層住宅の共用部電力消費実態までは把握できていない状況である。

本プロジェクトにおいては、以上のような経緯を踏まえて、超高層住宅の共用部電力消費の詳細調査を行うことにより、大都市区域モデル超高層住宅のエネルギー使用量に関する基礎的な情報収集を目的に調査を実施した。

調査の方法としては、東京都の東池袋に立地する 38 階建て超高層住宅 A 棟（414 戸）を対象に、共用部用途別に測定点を選定し、メモリー付きクランプロガーにて 5 分間平均値を連続測定する。データは約 1 ヶ月に 1 回収する。

電力実測の調査項目は、共用部用途別に 23 ヶ所の測定点を選定する。

(2) 共用部の用途別電力消費実態調査結果

平成 20 年（2008 年）12 月期より平成 21 年（2009 年）11 月期までの 1 年間の実測結果¹²⁾を踏まえて、超高層住宅 A 棟共用部の用途別電力消費量の実測調査結果を以下にまとめる。

① 電灯系電力消費量

- ・ 月別共用灯電力消費量は 588～612kWh/日であり、年間平均 598kWh/日で構成比は 18.0%となっている。
- ・ 月別保安灯電力消費量は 1,190～1,262kWh/日であり、年間平均 1,239kWh/日で構成比は 37.3%となっている。
- ・ 共用灯と保安灯を合わせた電灯系電力消費量は、年間平均 1,836kWh/日で構成比は 55.4%と過半数を占めている。

② 空調機電力消費量

- ・ 空調機電力消費量は季節変動が大きく、中間期（5 月）の 113kWh/日を最小として、最大は夏期（8 月）の 734kWh/日にまで変動しており、年間平均 421kWh/日、構成比は 12.7%となっている。

③ エレベータ電力消費量

- ・ エレベータ電力消費量の季節変動はあまりなく、月別にみると 319～344kWh/日であり、年間平均 335kWh/日、構成比は 10.1%となっている。

④ 給水ポンプ電力消費量

- ・ 給水ポンプ電力消費量も季節変動はあまりなく、月別にみると 158～167kWh/日であり、年間平均 163kWh/日、構成比は 4.9%となっている。

⑤ 駐車場排風機電力消費量

- ・ 駐車場排風機電力消費量も季節変動はなく、月別にみると 206～221kWh/日であり、年間平均 214kWh/日、構成比は 6.5%となっている。

⑥ 動力系電力消費量

- ・ 電灯以外の動力系電力消費量は、月別にみると 1,014kWh/日（5 月期）～1,939kWh/日（8 月期）で変動しており、年間平均 1,481kWh/日、構成比は 44.6%となっている。

⑦ 住棟全体の共用部電力消費量

- ・ 住棟全体の月別共用部電力量は 2,885kWh/日（5 月期）～3,736kWh/日（8 月期）で、年間平均は 3,317kWh/日となっている。これより年間電力消費量を推定すると 1,210,914kWh/年となる。これは住戸数 414 戸で割り戻すと、1 戸あたり 2,925kWh/年・戸に相当する。また、共用部延床面積（17,940 m²）で割り戻すと、1 m²あたり 67.5kWh/年・m²に相当する。

図 4.1 に共用部用途別電力消費量の月別推移、図 4.2 に図 4.1 の結果を戸あたりに換算した共用部用途別電力消費量の月別推移を示す。

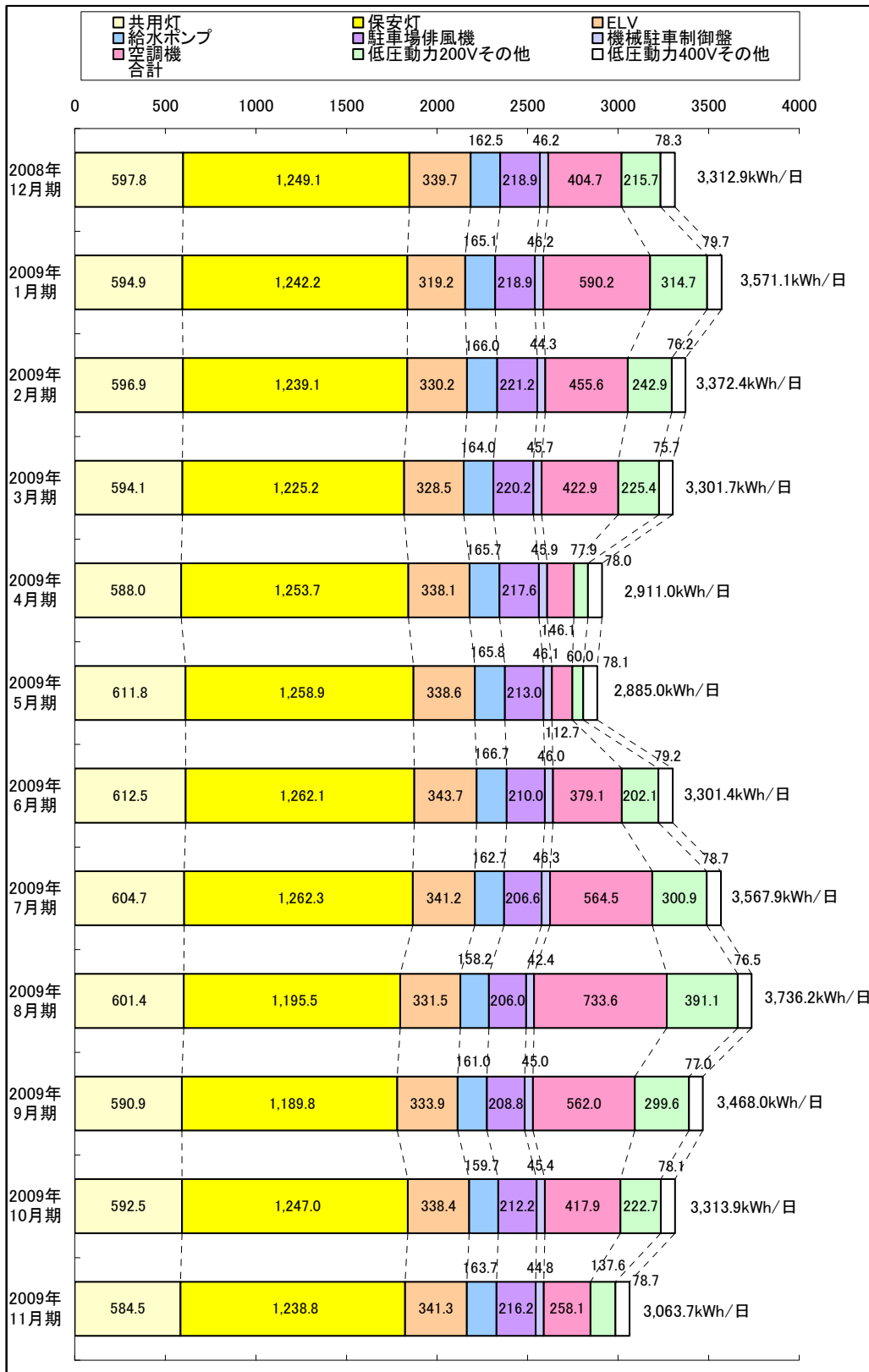


図 4.1 共用部用途別電力消費量の月別推移

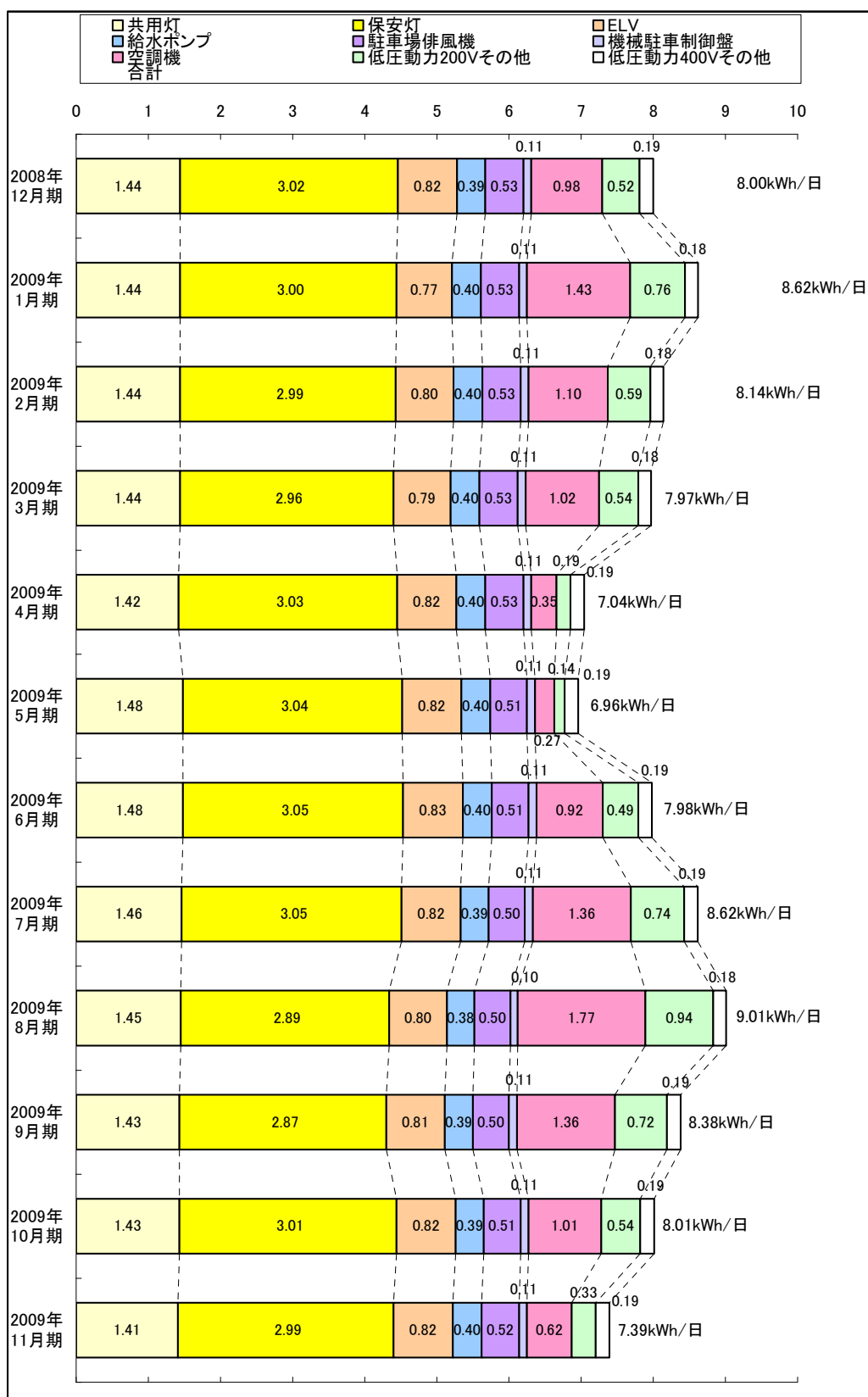


図 4.2 戸あたり共用部用途別電力消費量の月別推移

(3) 集合住宅共用部における電力使用量の比較

本プロジェクトで行った調査結果である超高層住宅A棟と都内に立地する他の高層住宅(B~F棟とする)の共用部における電力使用量、さらに既往研究¹³⁾における集合住宅共用部の電力使用量を比較する。

既研究対象住宅のうち、超高層の平均電力使用量は1,654kWh/年・戸であり、F棟とほぼ同等である。既研究対象住棟では、1970年代以降、2000年以前に管理が開始されたものが多いのに対してA棟~F棟はすべて2000年以降に管理が開始されており、近年に建設されている超高層住宅の共用部電力使用量が、増加傾向にあることが分かる。

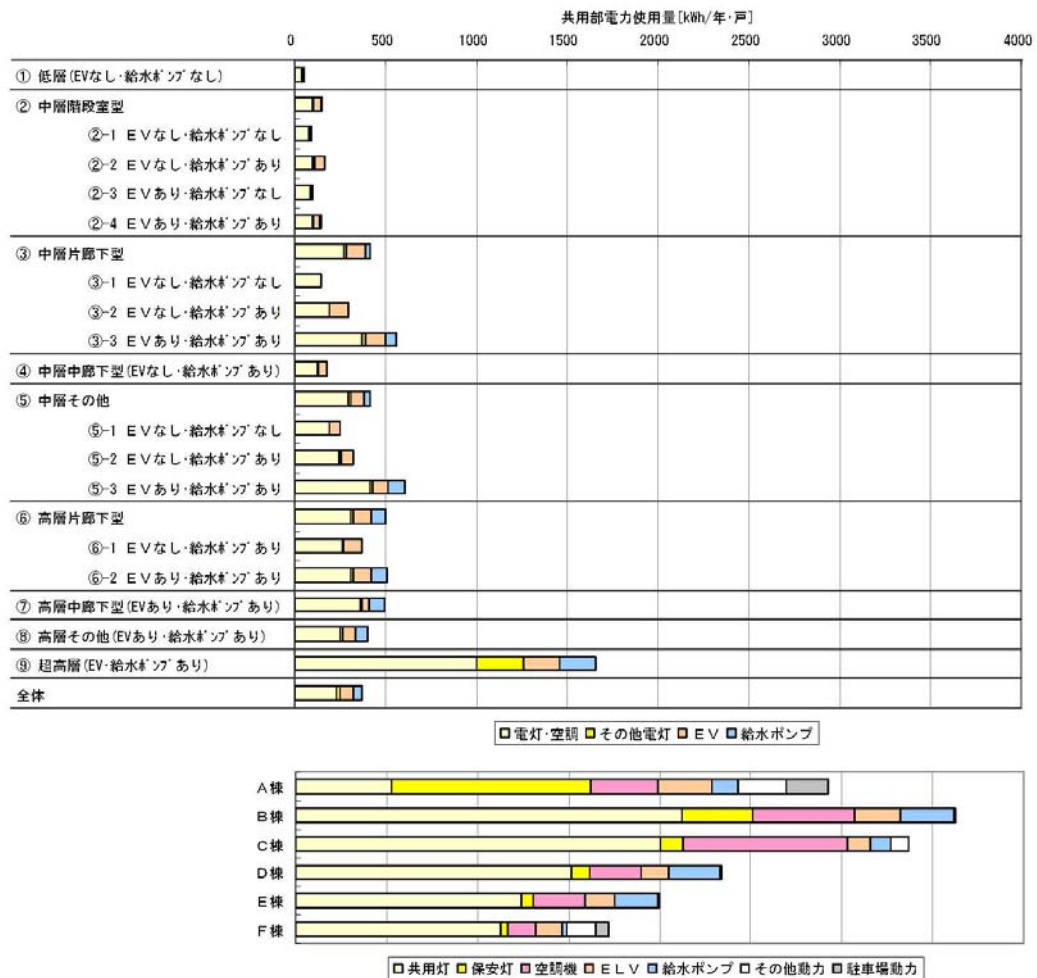


図 4.3 共用部電力使用量の比較 (上：既研究、下：本研究)

4.2.3 自然エネルギー賦存量調査

(1) 調査対象と目的

水素活用の基になる、自然エネルギーの賦存量について、太陽光、風力、バイオマスのデータベースを作成する。ここで作成するデータベースは、国総研のホームページよりダウンロードが可能であり、CO₂計量プログラムにおける再生可能エネルギーモジュールを活用することにより、自然エネルギー賦存量より太陽光発電による発電量、風力発電による発電量を計算することが可能となる。

データベースの整備地域については、2015年より大都市圏を中心に燃料電池自動車のための水素ステーションが整備されることから、比較的早期に水素ネットワークが整備されることが想定される以下の地域について整備することとする。

- ・ 札幌地域：北海道石狩振興局内
- ・ 関東地域：茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県
- ・ 中部地域：岐阜県、愛知県、三重県
- ・ 関西地域：滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県
- ・ 北九州地域：福岡県

(2) データベースの整備方針

本データベースの整備にあたっては、GISへの展開可能なデータであること、今後のデータ更新が可能であることを睨み、以下の仕様とする。

- ・ 標準地域メッシュにおける3次メッシュコード（約1km四方のメッシュ）に対応したデータとする。
- ・ メッシュ単位での整備が適当ではないバイオマスデータ（生ごみ等）については、市区町村に対応したデータとする。

ここで、標準地域メッシュとは、国土地理院にて整備を行っている国土数値情報に対応したデータであり、緯度40分、経度1度に相当する1次メッシュ（約80km四方：日本全国）に対し、8分割された2次メッシュ（約10km四方）をさらに10分割されたメッシュであり、約1km四方のメッシュデータとなっている。

また各メッシュにはメッシュコードが割り当てられており、1次メッシュで4桁のコード、2次メッシュで6桁のコード、3次メッシュで8桁のコードが割り当てられている。

1次メッシュの4桁のコードは、以下のルールにより設定されており、コードに応じて緯度経度が算出可能となっている。図4.4～4.6にメッシュコードの付け方を示す。

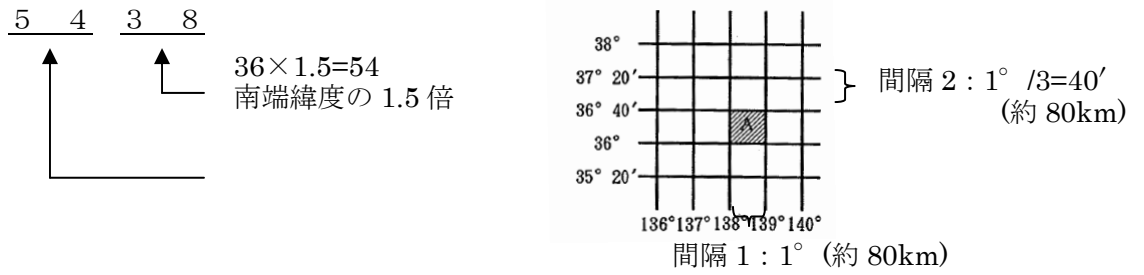


図 4.4 1次メッシュコードの付け方

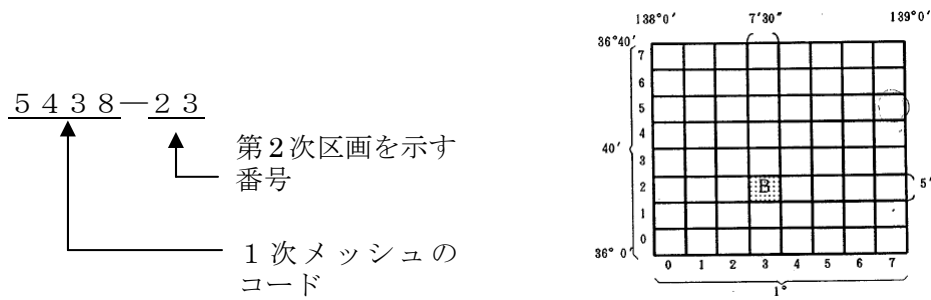


図 4.5 2次メッシュコードの付け方

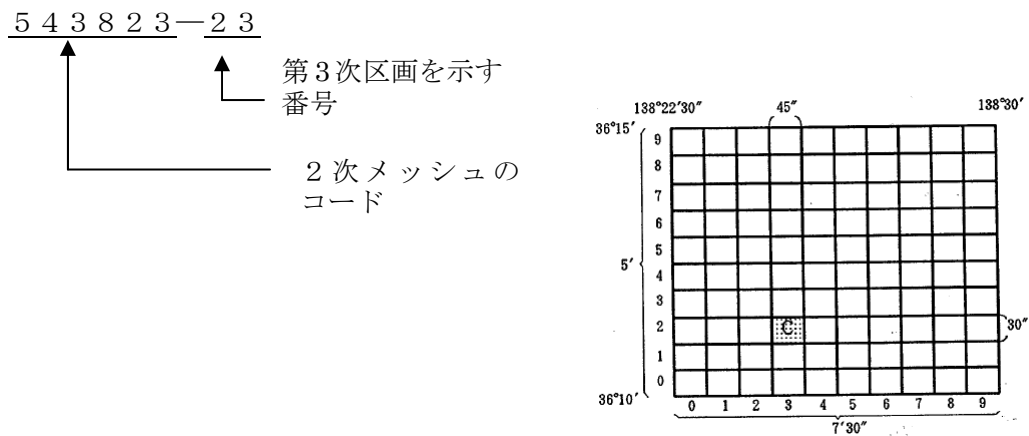


図 4.6 3次メッシュコードの付け方

(3) 太陽光活用データの収集・整備

(a) 太陽光日射量データの概要

本プロジェクトにて開発を行う CO₂ 計量プログラムにおいて太陽光のデータとしてエネルギー換算に必要なデータとしては、以下のデータであり、これらのデータを用い各地点における太陽光発電量の算定に用いる。

- ・ 水平面全天日射量の月別、時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 水平面直達日射量の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 水平面天空散乱日射量の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)
- ・ 気温の月別・時刻別パターン (24 時間×365 日データ)

(b) 太陽光日射量データの入手

太陽光発電量の検討に必要なとなる地点別日射量の基礎データとしては、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下、「NEDO」。) が調査、取りまとめたデータを用いる。

このデータは、以下の URL より標準気象・日射データや全国日射量平均値データマップのアプリケーションとして公開されており、特に制限なく入手可能なデータである。

URL : <http://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>

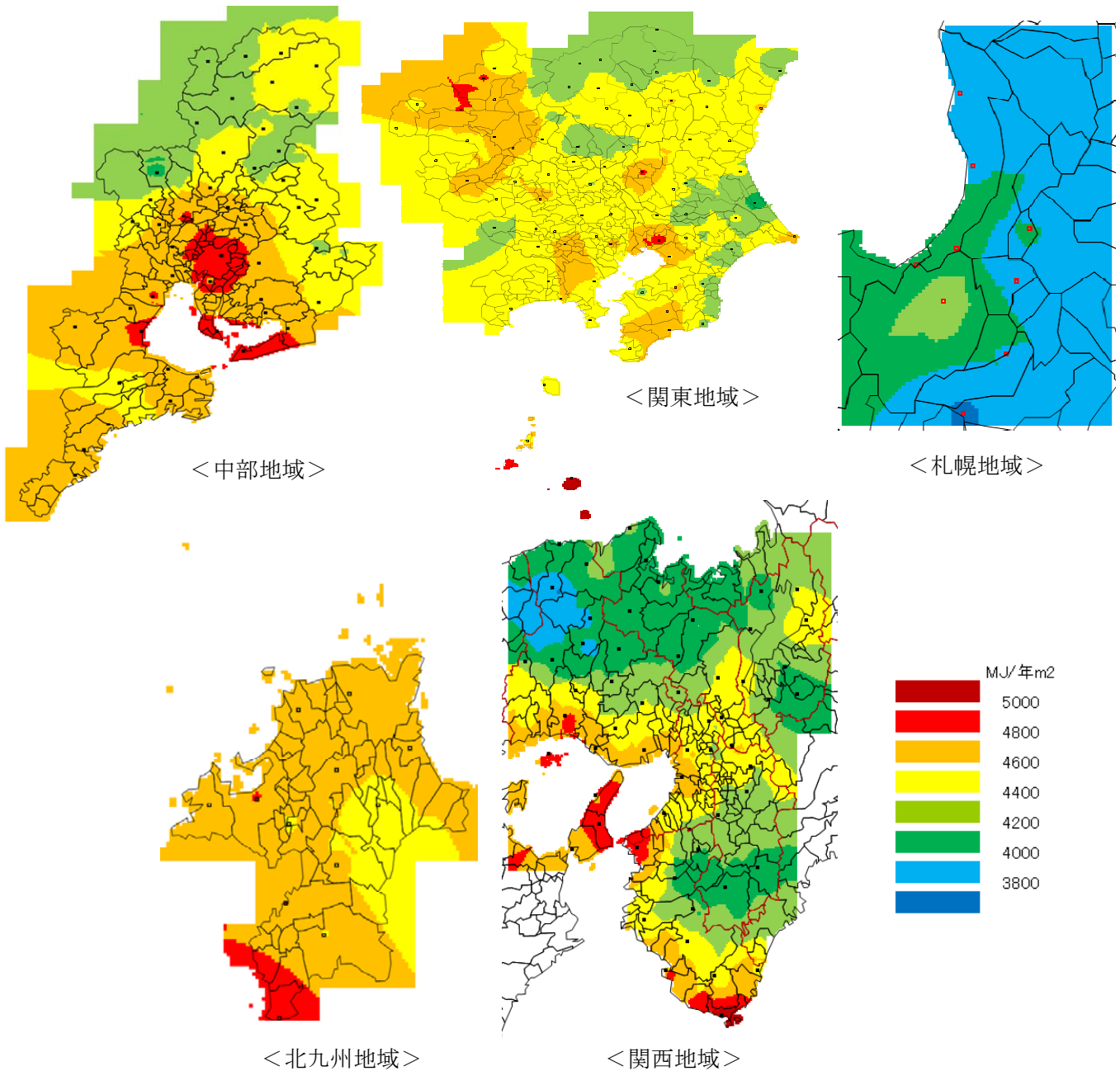
本データは、国内 836 地点・14 年間 (1990～2003 年) の標準気象・日射量データから、各地点における任意の方位及び傾斜角の日射量 (MJ/m²) を、1 ヶ月又 1 日単位でデータを有するソフトウェアであり、本ソフトウェアのデータで得られる日射量から任意の月・日における太陽電池の発電量を推定することに活用できるものである。

本データベースにおいては、NEDO で整備された札幌地域、関東地域、中部地域、関西地域、北九州地域におけるアメダスの観測所における上記の 4 つのデータ (それぞれ 24 時間×365 日分のデータ) を用い、距離による補間を行い 3 次メッシュに展開してデータベース化を行った。

距離による補間方法としては、対象となる 3 次メッシュの代表緯度経度に最も近接する 3 地点での観測データを検索し、その 3 地点との観測データと距離に応じた加重平均することにより求めることとした。

(c) 太陽光データの整備

本プロジェクトにて開発を行うデータベースにおいては、365日×24時間単位のデータの入手が可能となるが、ここでは3次メッシュ単位における太陽光データの例として、各地域における水平面日射量の年間総量のカラーマップを図4.7に示す。



※図中に示す□や■は、アメダスの観測点を示す。

図4.7 水平面全天日射量の年間総量カラーマップ図

(4) 風力活用データの収集・整備

(a) 風力データの概要

本プロジェクトにて開発を行う CO₂ 計量プログラムにおいて風力のデータとしてエネルギー換算に必要なデータとしては、以下のデータであり、これらのデータを用い各地点における風力発電量の算定に用いる。

- ・ 年間平均風速
- ・ 風況の月別・時刻別パターン

(b) 平均風力データの入手と整備

平均風況マップは、NEDO によって取りまとめられたデータが、平成 18 年度版のモデルとして、以下の URL より公開されている。

URL : <http://app2.infoc.nedo.go.jp/nedo/top/top.html>

本データは、気象庁から収集した風況データと、全国を対象に気象予測数値解析モデル (LAWEPS) によって 500m メッシュで解析した結果を基に作成された「風況マップ (地上高 30・50・70m、平均風速)」に整理されたものである。この解析結果のデータとしては、平均風速のほか、ワイブル K、ワイブル C のデータがとりまとめられており、500m メッシュ単位での入手が可能となっている。

本 DB としては、これら入手可能である 30m 位置、50m 位置、70m 位置の風速についてデータの入手を行い、1km メッシュに再整理を行うこととする。500m メッシュから 1km メッシュへの整理については、1km メッシュの代表緯度経度 (南東端) と最も近接する箇所のデータを割り当てることとした。

また、将来的に洋上風力発電の開発が行われることを想定し、海域についても可能な限りデータの整理を行う。

(c) 風況の月別・時刻別パターンの入手と整備

風況の月別・時刻別データは、NEDO によって実施された「風力発電フィールドテスト風況精査」によって観測されたデータを活用し、取りまとめることとする。

「風力発電フィールドテスト風況精査」は平成 7 年度から平成 20 年度まで約 580 箇所の地点で実施されており、観測データが取りまとめられている。これらのデータより本プロジェクトでの整備対象である 18 都道府県の代表データ (365 日×24 時間の風況パターンデータ) を決定し、整備を行った。

(d) 風力データの整備

本プロジェクトにて開発を行うデータベースにおいては、(b)にて整備を行う3次メッシュ単位の平均風速データに、(c)にて整備を行う風況パターンを乗じることにより、365日×24時間単位のデータとして整備を行った。ここでは3次メッシュ単位における平均風速の例として、各地域における年間平均風速（地上高さ50m）のカラーマップを図4.8に示す。

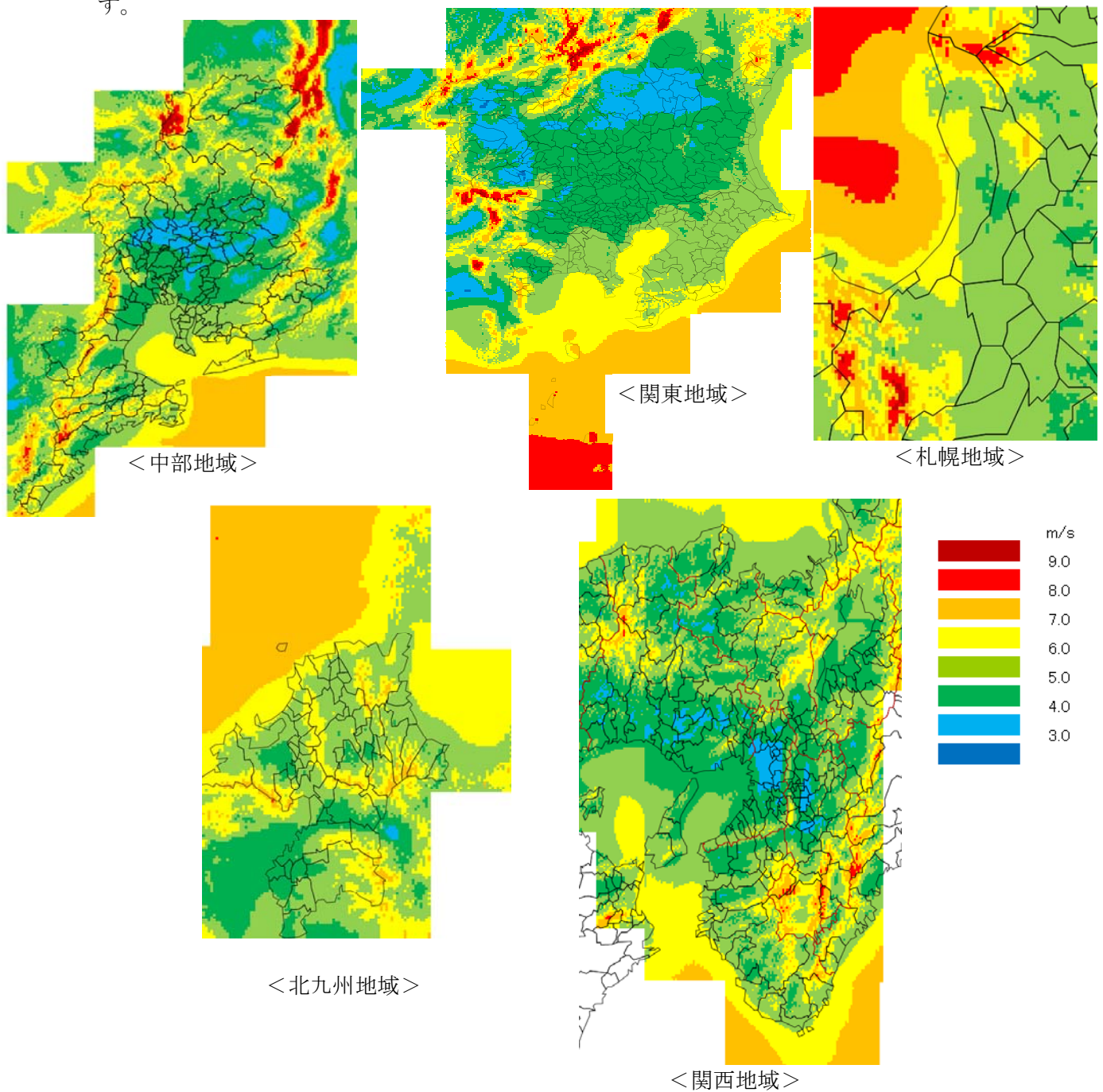


図 4.8 平均風速（50m 高さ）のカラーマップ図

(5) バイオマスデータの整理

(a) バイオマスデータの概要

バイオマスエネルギーの検討に必要な資源廃棄物等のデータは、NEDOにおいて資源別に詳細に整備されており、このデータを活用することとする。またここでのデータは有効可能熱量としてまとめられており、直接エネルギー換算が可能となる。

(b) バイオマスデータの入手

バイオマス賦存量および有効利用可能量は、NEDOによって取りまとめられたデータがホームページ上の以下の URL で公開されている。

URL : <http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/>

本データは各市町村レベル（未利用資源・廃棄物系資源）、各 1km メッシュレベル（未利用系資源のみ）で取りまとめられており、活用することが可能である。

また、本データに関しては、以下のバイオマスデータが網羅されている。

- ・ 未利用系資源
 - 木質系バイオマス：林地残材、切捨間伐材、果樹剪定枝、タケ
 - 農業残渣：稲わら、もみ殻、麦わら、その他の農業残渣
 - 草本系バイオマス：ススキ、ササ
- ・ 廃棄物系資源
 - 木質系バイオマス：国産材製材廃材、外材製材廃材、建築解体、新・増築廃材、公園剪定枝
 - 畜産ふん尿、汚泥：乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏、ブロイラー、下水汚泥(濃縮汚泥)、し尿・浄化槽余剰汚泥、集落排水汚泥
 - 食品系バイオマス：食品加工廃棄物、家庭系厨芥類、事業系厨芥類

(c) バイオマスデータの整備

バイオマスのデータは、有効可能重量と有効可能熱量の両方により整備されており、本データベースでは、このどちらの値も活用できるように整備を行った。また、整備にあたっては、未利用系資源については、木質系バイオマス、農業残渣、草本系バイオマスの合算値、廃棄物系資源については、木質系バイオマス、畜産ふん尿・汚泥、食品系バイオマスの合算値として整備を行った。

また NEDO で整備されたデータは、未利用系資源について 3 次メッシュ単位、市町村単位で整備されており、廃棄物系資源に関しては市町村単位で整備されている。本データベースにおいても NEDO において整備されたデータの単位で整備することとする。3 次メッシュ単位、市町村単位のカラーマップをそれぞれ図 4.9、図 4.10 に示す。

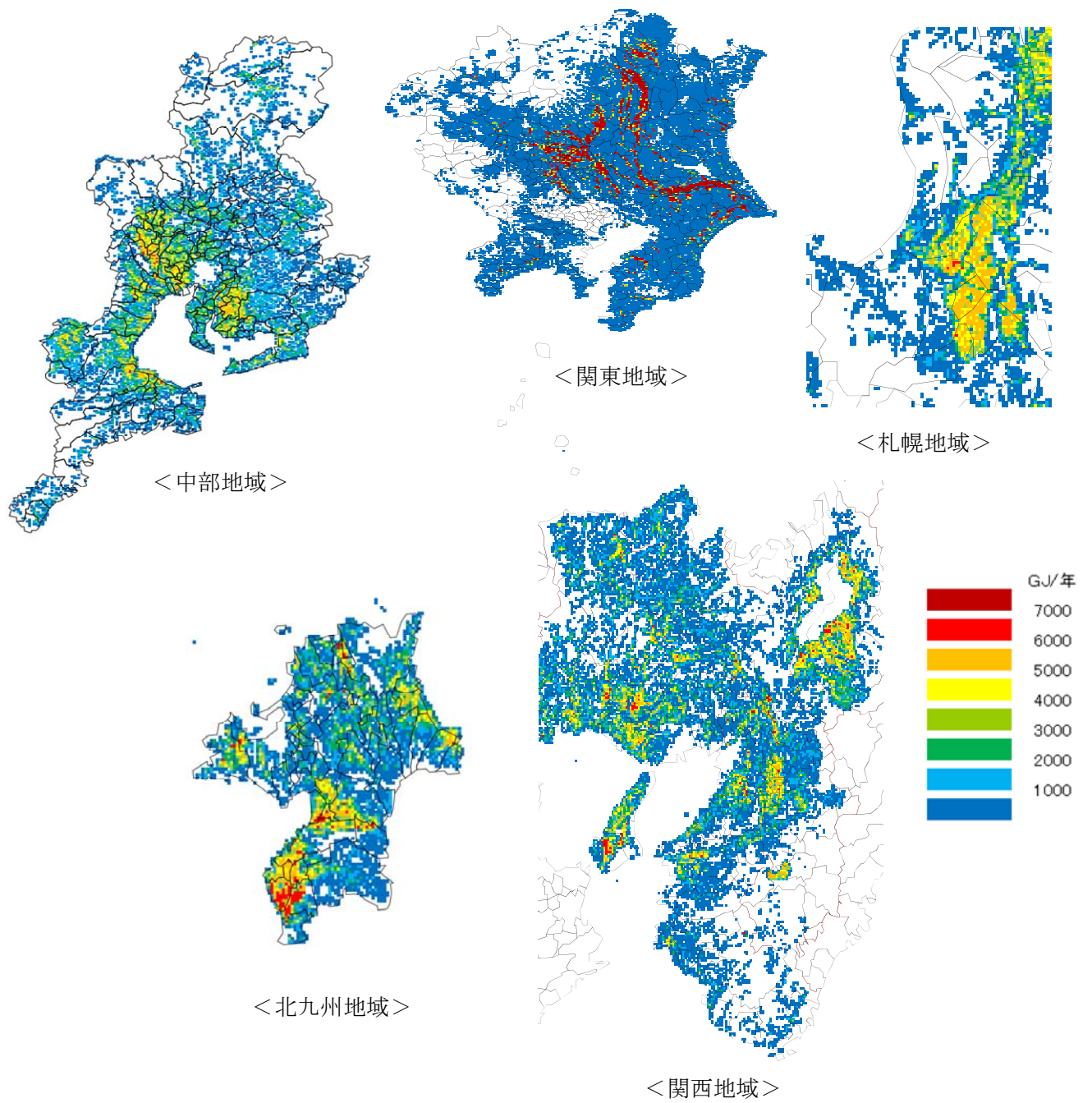


図 4.9 バイオマスデータ（未利用系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図
3次メッシュ単位データ

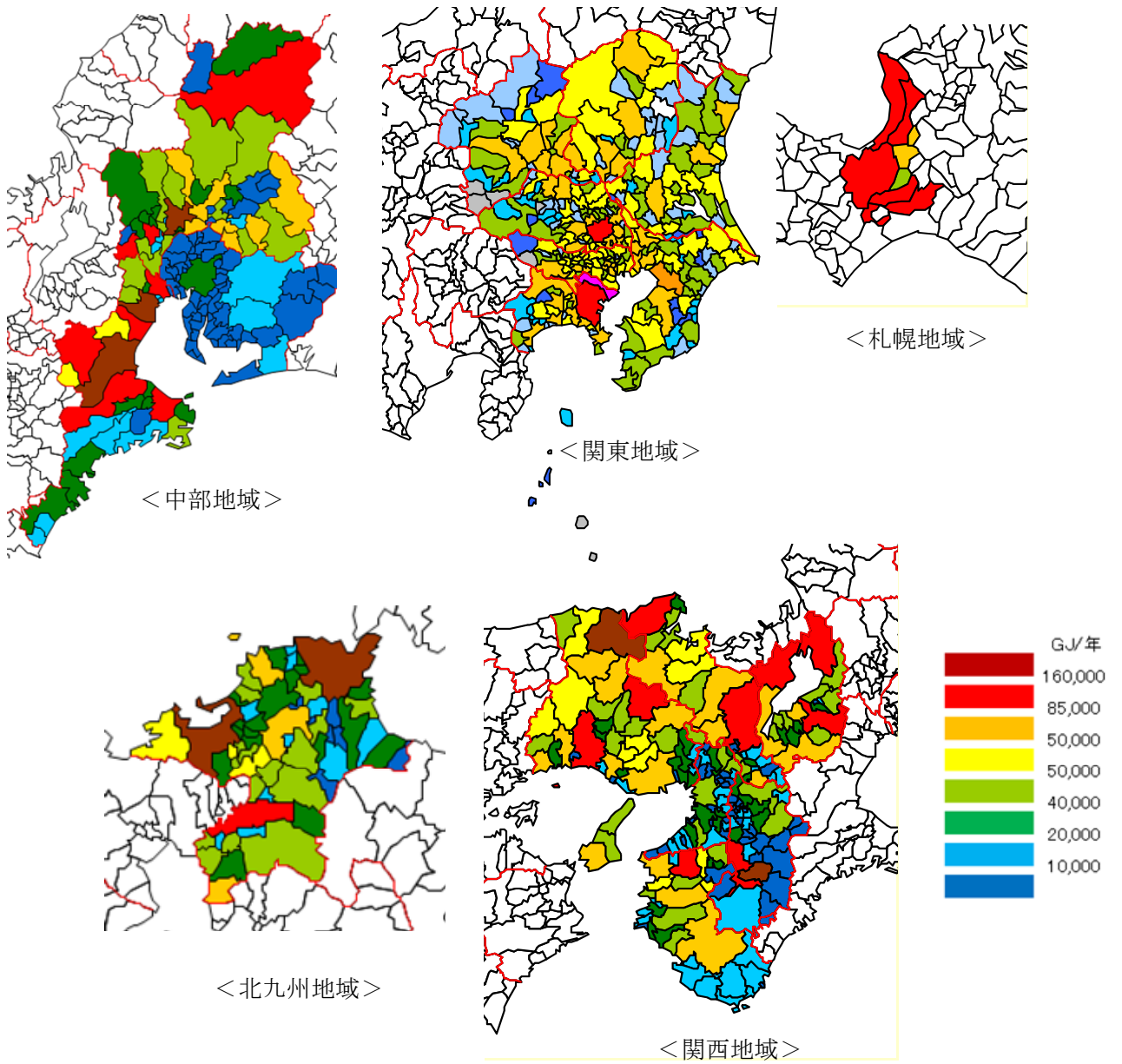


図 4.10 バイオマスデータ（廃棄物系資源：有効可能熱量）のカラーマップ図
市町村単位データ

(6) 電子国土ポータルを活用した可視化とデータの入手

本プロジェクトにおいては、ここで整備したデータベースを国土技術政策総合研究所のHPよりダウンロードが可能であり、また一部のデータに関しては電子国土ポータルを活用し、カラーマップとして確認することが可能である。

データの入手に関して、以下の手順により入手することが可能である。

- ① 国総研のHPにアクセスし、データベースをダウンロードし、各ユーザーのパソコンに保存
- ② 起動画面となるエクセルファイルを開く（図 4.11 参照）
- ③ 入手したいデータ種別（太陽光、風力、バイオマス）を選択
「地図ボタン」をクリックして電子国土ポータルを立ち上げる（※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能）
- ④ 図 4.12 参照)
入手したい地域をサーチし、緯度・経度データを入手（※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能）
- ⑤ 図 4.12 参照)
「メッシュコードで検索」もしくは「市町村で検索」をクリックして、データを入手することが可能となる。（※メッシュコード検索ボタンをクリックすることにより3次メッシュ単位データの入手が可能）
- ⑥ 図 4.13～図 4.17 参照)

自然エネルギー地域賦存量データベース 検索シート (β版)

データ種別

<p><input checked="" type="radio"/> 太陽光</p> <p><検索対象データ> 指定メッシュの年間時別 ・水平面全天日射量 ・水平面直達日射量 ・水平面天空散乱日射量 ・気温</p> <p>※日射量データベースMETPV-11 (NEDO)を利用して整備</p>	<p><input type="radio"/> 風力</p> <p><検索対象データ> 指定メッシュの年間時別 ・平均風速 (地上高さ30,50,70m)</p> <p>※局所風況マップ(NEDO)データを利用して整備</p>	<p><input type="radio"/> バイオマス</p> <p><検索対象データ> 指定メッシュまたは市町村の有効利用可能量および有効利用熱量 (メッシュは◎のバイオマス種のみ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・未利用系資源 <ul style="list-style-type: none"> 木質系バイオマス 農業残渣 ◎ 草木系バイオマス ◎ ・廃棄物系資源 <ul style="list-style-type: none"> 木質系バイオマス 畜畜ふん尿汚泥 食品系バイオマス <p>※バイオマス賦存量及び有効利用可能量の推計(NEDO)データを利用して整備</p>
---	---	---

3次メッシュデータ検索

3次メッシュコード ← ← ← ←

↑ 直接入力可

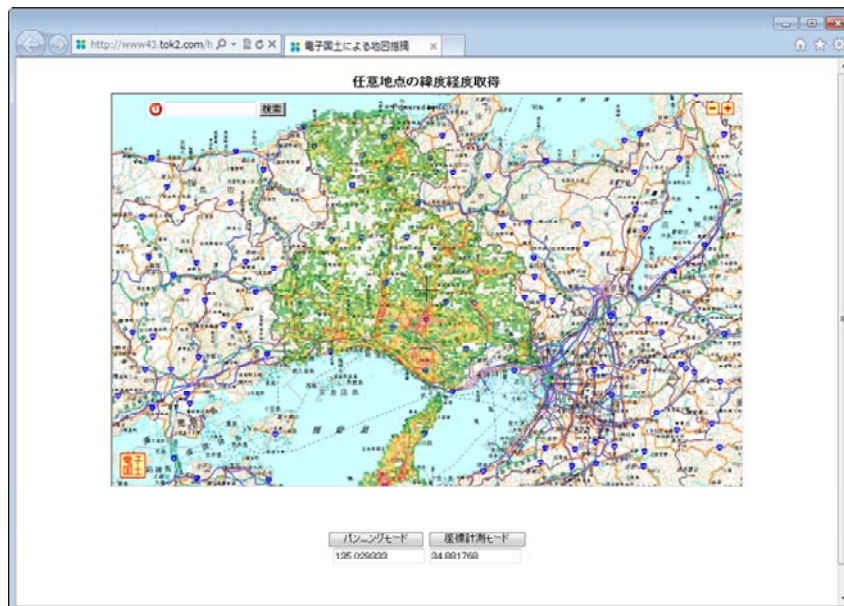
※要インターネット接続 (Internet Explorerが起動します)

市町村データ検索 (バイオマスのみ)

都道府県 市町村

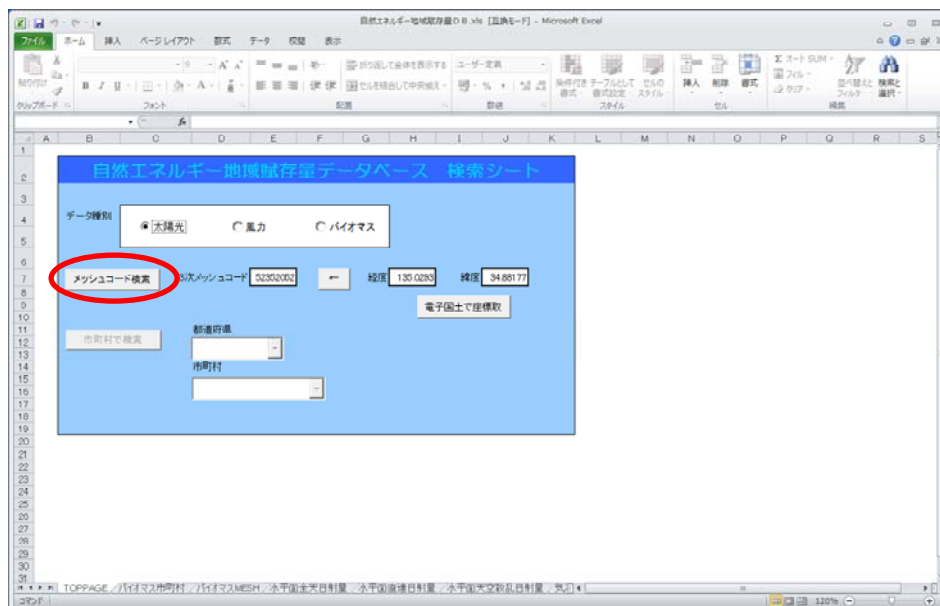


図 4.11 自然エネルギー賦存量データベース起動画面



※地図上をクリックすることにより、緯度・経度の情報の入手が可能

図 4.12 電子国土ポータル画面イメージ



※メッシュコード検索ボタンをクリックすることにより 3 次メッシュ単位データの入手が可能

図 4.13 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート (3 次メッシュデータ検索)

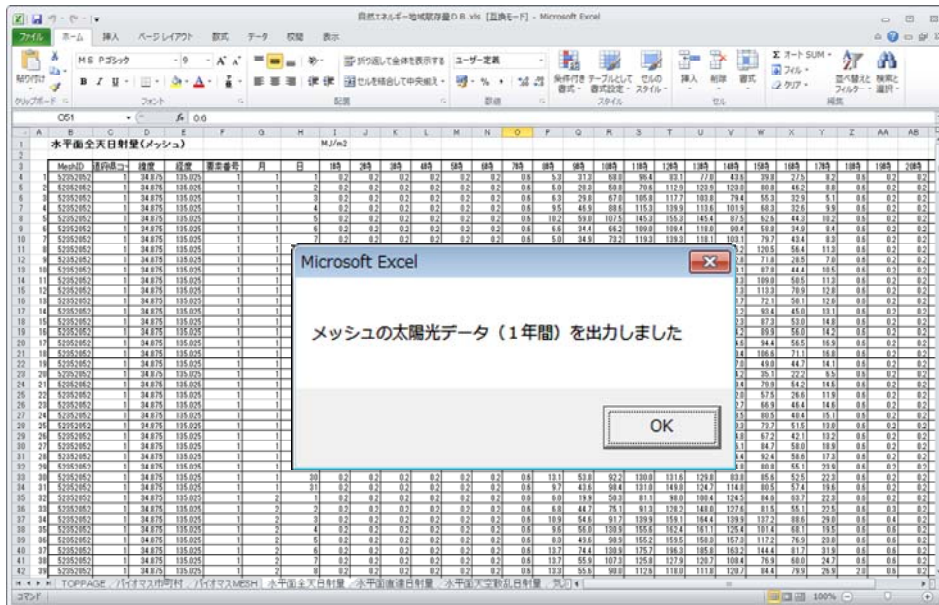


図 4.14 太陽光データの入手イメージ

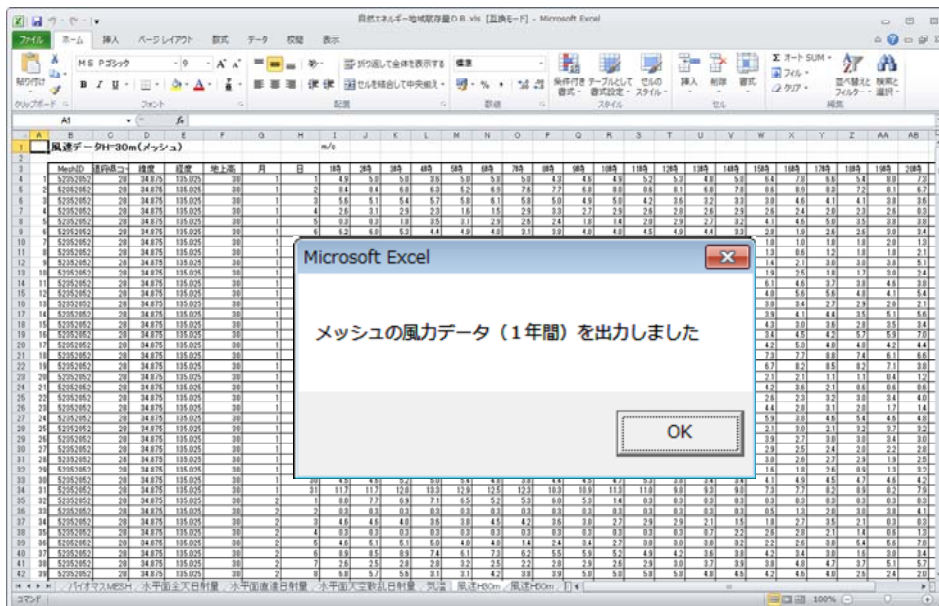
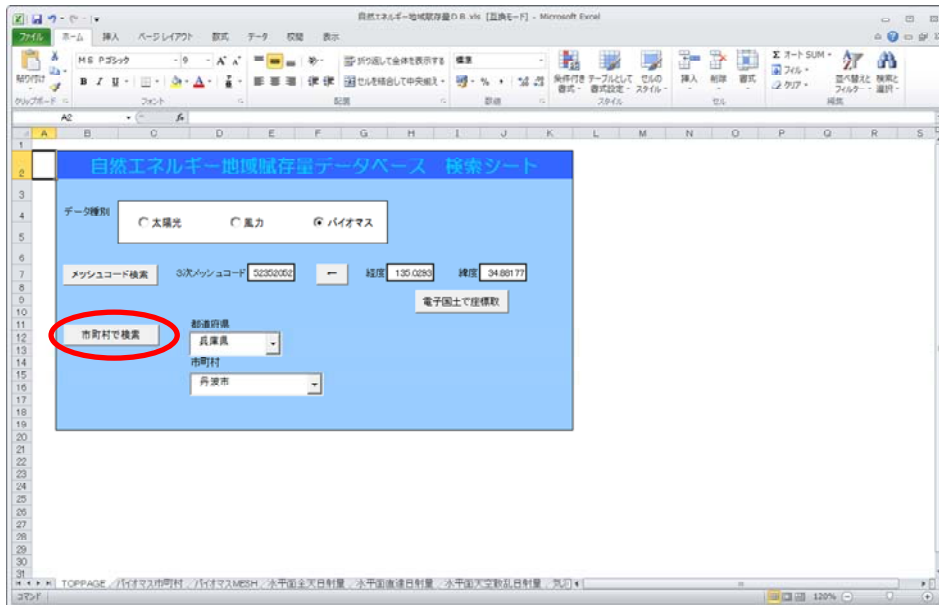


図 4.15 風力データの入手イメージ



※市町村データ検索ボタンをクリックすることによりバイオマスの市町村単位データの入手が可能

図 4.16 自然エネルギー地域賦存量データベース検索シート（市町村データ検索）

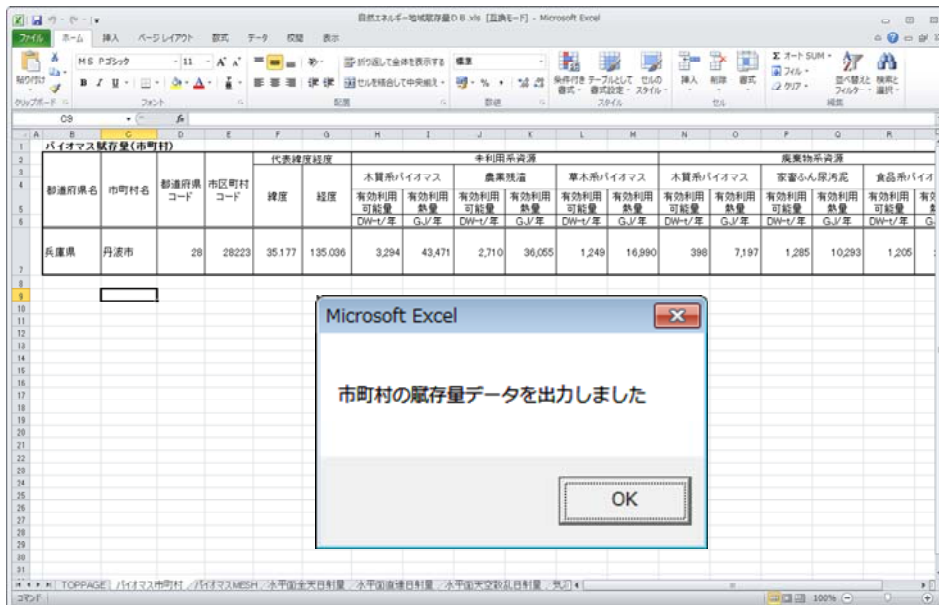


図 4.17 バイオマス市町村単位データの入手イメージ

4.3 低炭素都市評価システムの開発

4.3.1 システム概要

低炭素都市評価システムとして大きく分けて以下の2つのシステムの開発を行った。また本システムは単独で活用することも可能である、連成しそれぞれのアウトプットを他のシステムの入力として活用することが可能なシステムである（図 4.18）。

- ・ 街区空調負荷モデル
- ・ CO₂計量モデル

街区空調負荷モデルの詳細は 4.3.2 に示すが、ある街区領域を対象に気象変化（温度・風）に応じた建物空調負荷を算定することが可能なシステムである。CO₂計量プログラムは、詳細は 4.3.3 に示すが、単独の建物もしくは街区に存在する複数の建物を対象に、それぞれの建物単位でのエネルギー負荷、CO₂排出量、経済性を評価することができるシステムである。CO₂計量プログラムの入力となる建物冷暖房需要に関しては、4.2.1 にて整備した IBEC データ等の既存研究成果を活用することも可能であるが、街区空調負荷モデルによる計算結果を利用し、より詳細に街区気象の影響を反映したシミュレーションが実施することが可能である。また CO₂計量プログラムのアウトプットとしては、CO₂排出量と同時に建物排熱が出力される。この建物排熱に関しては、街区空調負荷モデルの入力条件として、街区気象データに追加することが可能であり、それぞれのプログラム結果を連成し、都市ヒートアイランド効果および都市エネルギーシステム評価が同時に行うことができるシステムである。

本プロジェクトでは、このシステムを研究者レベルではなく都市設計技術者が利用できるよう Windows ベースのパソコンで利用できるシステムを開発した。本章においては、これらシミュレーションモデルの概要を説明すると同時に、本システムを用いて将来の水素ネットワーク社会を睨んだ街区シミュレーションを実施し、CO₂削減効果や削減コストの評価を実施した。

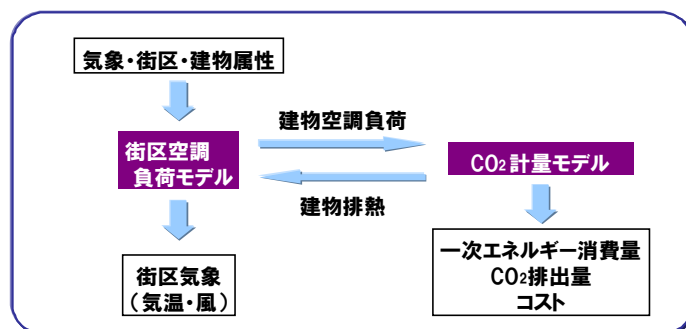


図 4.18 連成システムの概要

4.3.2 街区空調負荷モデル

(1) 数理モデルの構成要素

街区空調負荷の数理モデルは大きく分けて次の二つの要素から成る。

- ・ 地表面・建物表面の熱収支
- ・ 空調負荷

地表面・建物表面(以下、地物表面)の熱収支に係わる緒元は次のようになる (図 4.19)。

- (i) 太陽からの短波放射 (直達・散乱)
- (ii) 大気からの長波放射
- (iii) 地物表面間の放射熱伝達
- (iv) 周辺大気との顕熱・潜熱輸送
- (v) 室内空気との顕熱輸送
- (vi) 建物壁内部の熱伝導

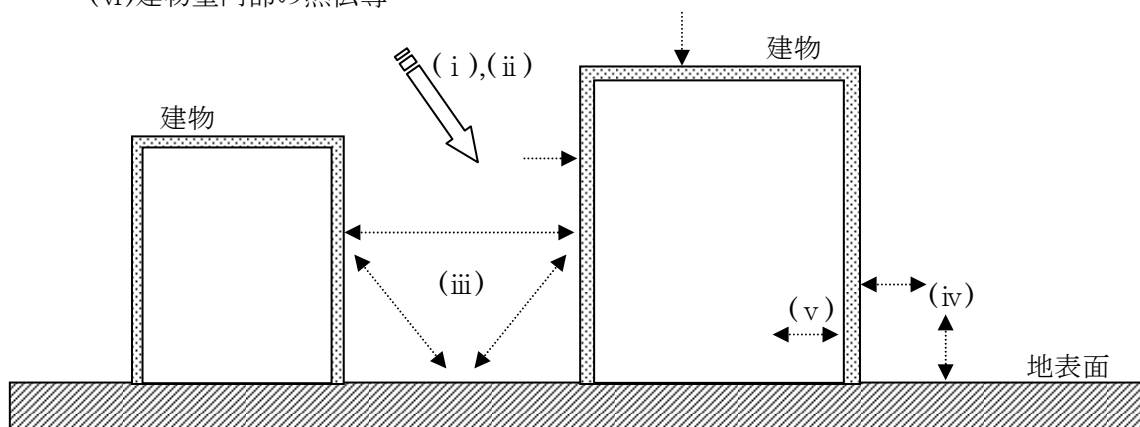


図 4.19 地物表面の熱収支に係わる緒元概念

空調負荷に係わる緒元は次のようになる (図 4.20)。

- (vii) 貫流熱
- (viii) 日射熱
- (ix) 内部発生熱(顕熱・潜熱)
- (x) 換気(顕熱・潜熱)

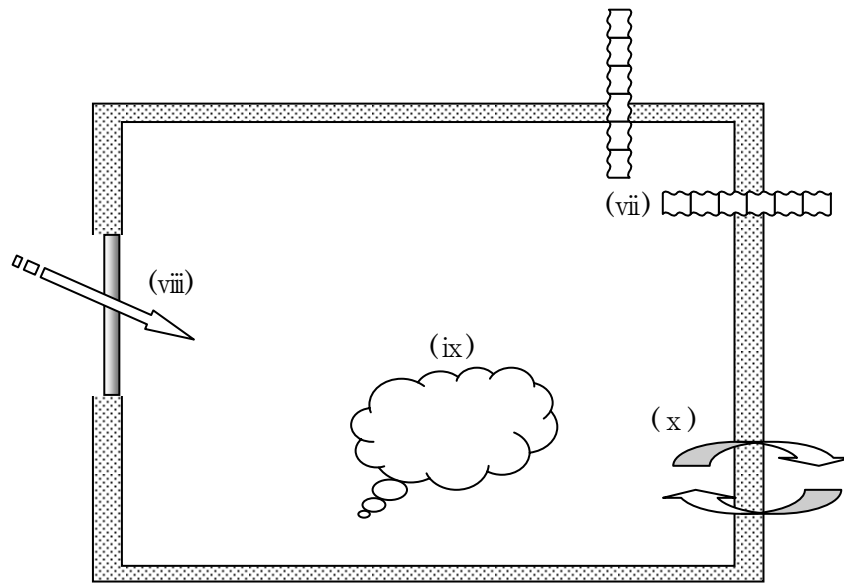


図 4.20 空調負荷に係わる緒元の概念図

(a) 表面熱収支式

街区空調負荷を算出するには、街区の表面熱収支を解く必要がある。表面熱収支式は次のように表される。

$$S_n + L_a + R_L + R_s + H + E + G = 0 \quad (4.1)$$

各項の意味と内容は次のようになる。

(b) 正味全天日射量

正味全天日射量 S_n [W/m²] は地表面に吸収される正味の全天日射量で、地表面アルベト(反射率) α を用いて次のように表される。

$$S_n = (1 - \alpha) S_g \quad (4.2)$$

ここで、 S_g は全天日射量[W/m²] で、直達日射量 S_d [W/m²] と天空(散乱)日射量 S_s [W/m²] との和である。

$$S_g = \omega_d S_d + \omega_s S_s = \omega_d S_{d\perp} \cos \psi + \omega_s S_s \quad (4.3)$$

ただし、 $S_{d\perp}$: 法線面直達日射量[W/m²]、 ψ : 直達光と表面との成す角[rad.]である。また、 ω_d : 日向率、 ω_s : 天空率である。観測値がない場合などでは、法線面直達日射量 $S_{d\perp}$ および天空日射量 S_s はそれぞれ Bouguer 式および Berlage 式で評価されることが多い。

Bouguer 式 :

$$S_{d\perp} = I_0 P^{1/\sin h} \quad (4.4)$$

Berlage 式 :

$$S_s = 0.5 I_0 \sin h \frac{1 - P^{1/\sin h}}{1 - 1.4 \cdot \log P} \quad (4.5)$$

ここで、 I_0 : 太陽定数[W/m²]、 P : 大気透過率、 h : 太陽高度[rad.]である。

太陽方位ベクトル(S_x, S_y, S_z)は次のように表される。

$$\begin{aligned} S_x &= -\cos \delta \sin \gamma \\ S_y &= \cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos \gamma \\ S_z &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \end{aligned} \quad (4.6)$$

ここで、 ϕ : 緯度[rad.]、 δ : 赤緯[rad.]、 γ : 時角[rad.]である。したがって、水平な地表面の場合、

$$\cos \psi = S_z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \gamma \quad (4.7)$$

となる。

(c) 大気放射量

大気放射量 L_a [W/m²]は Brunt の式で評価する。

Brunt 式 :

$$L_a = \omega_s (0.526 + 0.076 \sqrt{e}) \epsilon \sigma T_a^4 \quad (4.8)$$

ここで、 e : 水蒸気圧[mmHg]、 T_a : 大気温度[K]、 σ : Stefan-Boltzmann 定数[W/(m² · K⁴)]である。ただし、上式では天空率 ω_s を考慮している。

(d) 正味長波放射量

大気放射量を除いた正味の長波放射量 R_L は周囲の面 i からの射度 $G_{L,i}$ および面 i の形態係数 F_i を用いて次のように表される。

$$R_L = \epsilon \sum_i G_{L,i} F_i - \epsilon \sigma T_G^4 \quad (4.9)$$

ここで、射度 $G_{L,i}$ は次式で定義される。

$$G_{L,i} = \varepsilon_i \sigma T_{G,i}^4 + (1 - \varepsilon_i) \sum_j G_{L,j} F_{ji} \quad (4.10)$$

(e) 正味短波放射量

壁面での反射を繰り返し吸収される正味の短波放射量 R_S は周囲の面 i からの射度 $G_{S,i}$ および面 i の形態係数 F_i を用いて次のように表される。

$$R_S = (1 - \alpha) \sum_i G_{S,i} F_i \quad (4.11)$$

ここで、射度 $G_{S,i}$ は次式で定義される。

$$G_{S,i} = \alpha \sum_j G_{S,j} F_{ji} \quad (4.12)$$

(f) 顕熱輸送量

顕熱輸送量 H [W/m²] は熱伝達係数 h [W/(m² · K)] を用いて次のように定式化される。

$$H = h(T_a - T_G) \quad (4.13)$$

(g) 潜熱輸送量

潜熱輸送量 E [W/m²] は蒸発効率 β を考慮して次のように定式化される。

$$E = L\beta h_q (q_a - q_G) \quad (4.14)$$

ここで、 L : 蒸発潜熱[J/kg]、 h_q : 物質輸送係数[kg/(m² · s)]、 q_a : 大気中の比湿[kg/kg] である。また、 q_G は地表面飽和比湿[kg/kg] で、地表面温度 T_G に対する飽和蒸気圧 e_G [Pa] から次のように計算できる。

$$q_G = \frac{\varepsilon(e_G/p_a)}{1 - (1 - \varepsilon)(e_G/p_a)} \quad (\varepsilon = M_v/M_d \approx 0.622) \quad (4.15)$$

$$e_G = 6.11 \times 10^2 \cdot \exp \left[\frac{M_v L}{273 R_o} \left(1 - \frac{273}{T_G} \right) \right] \quad (\text{Clausius-Clapeyron式}) \quad (4.16)$$

ただし、 p_a : 大気圧[Pa]、 M_d : 乾燥空気の分子量[kg/mol]、 M_v : 水蒸気の分子量[kg/mol]、 R_o : 普遍気体定数[J/(mol · K)] である。

(h) 固体内熱伝導量

固体内への熱伝導量 G [W/m²]は、表面 $z = 0$ における固体温度 T_g の勾配を用いて、

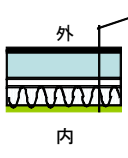
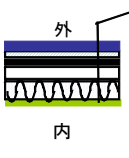
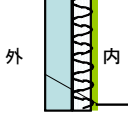

$$G = k_g \left(\frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (4.17)$$

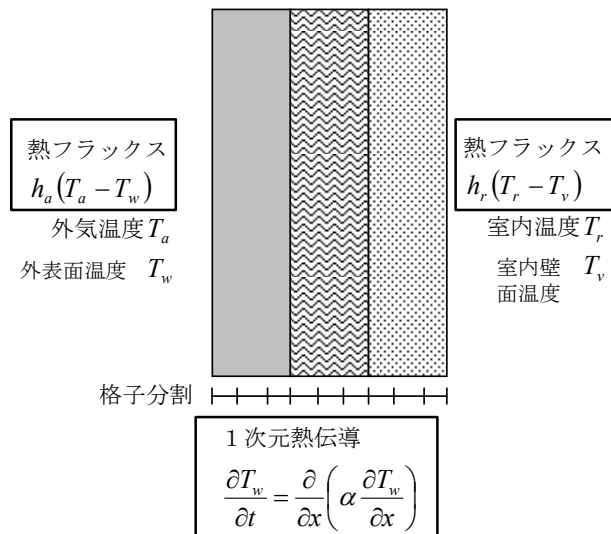
と表される。ここで、 k_g は固体の熱伝導係数[W/(m・K)]である。また、地物面法線座標 z は内向きを正にとる。固体内への熱伝導量 G を評価するため、1次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (4.18)$$

壁面内の熱伝導は、表 4.6 に示すように層状の材質構成を考慮して、1次元熱伝導方程式から算定する。

表 4.6 屋根・屋上及び壁の構成

	RC造	木造
屋根・屋上	 <p>外</p> <p>内</p> <ul style="list-style-type: none"> アスファルト10 コンクリート120 空気10 グラスウール50 石膏ボード10 	 <p>外</p> <p>内</p> <ul style="list-style-type: none"> 瓦30 木板10 アスファルト10 空気50 グラスウール50 石膏ボード10
壁	 <p>外</p> <p>内</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリート100 グラスウール60 石膏ボード10 	 <p>外</p> <p>内</p> <ul style="list-style-type: none"> ブライウッド20 空気10 グラスウール50 石膏ボード10



(2) 表面熱収支式の計算要領

固体内（地中内または建物壁面内）への熱伝導量 G を評価するため、表面法線方向の 1 次元熱伝導方程式を考える。

$$\rho_g C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) \quad (4.19)$$

ここで、 ρ_g : 固体の密度[kg/m³]、 C_g : 固体の比熱[J/kg/K]である。不易層深さ z_B [m] まで計算領域をとると、固体表面 $z=0$ および固体底面 $z=z_B$ における境界条件はそれぞれ次のように与えられる。

$$\text{固体表面} : \left(T_g \right)_{z=0} = T_G \quad (4.20)$$

$$\text{固体底面} : \left(\frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = 0 \quad (\text{断熱}) \quad (4.21)$$

十分な深さを取らない場合、固体底面 $z=z_B$ における境界条件は次のように与えられる。

$$\text{固体底面} : \left(k_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right)_{z=z_B} = h_B (T_B - T_{g,z=z_B}) \quad (4.22)$$

ここで、 h_B は固体底面での対流熱伝達係数[W/ (m²・K)]である。固体底面で温度固定とする場合は h_B を十分大きな値(例えば 1×10^{20})とすればよい。

式(4.19)は差分法により離散化する。時間刻みおよび格子幅をそれぞれ Δt および Δz_k とし、熱伝導項を 2 次中心差分、時間項を Euler 陰解法で離散化すると、

$$\frac{\rho_{g,k} C_{g,k}}{\Delta t} (T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k}^n) = \frac{2}{\Delta z_k} \left(k_{g,k+1/2} \frac{T_{g,k+1}^{n+1} - T_{g,k}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k+1}} - k_{g,k-1/2} \frac{T_{g,k}^{n+1} - T_{g,k-1}^{n+1}}{\Delta z_k + \Delta z_{k-1}} \right) \quad (4.23)$$

となる。ここで、セル界面の熱伝導係数 $k_{g,k+1/2}$ は調和平均により内挿する。

$$k_{g,k+1/2} = \frac{k_{g,k} k_{g,k+1} (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})}{k_{g,k} \Delta z_{k+1} + k_{g,k+1} \Delta z_k} \quad (4.24)$$

式(4.23)の係数行列は三重対角行列となるため TDMA 法により解くことができる。

時間積分法

手順1：固体表面温度 T_G の計算

n 時刻レベルの固体温度分布 $T_{g,k}^n$ が与えられているとき、固体内への熱伝導量 G は次のように計算できる。

$$G = k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (4.25)$$

このとき、表面熱収支式は、 n 時刻レベルの固体表面温度 T_G^n を未知数とした次のような非線形方程式になる。

$$S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon\sigma(T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} = 0 \quad (4.26)$$

式(4.26)はNewton法により解く。

$$\left[4\varepsilon\sigma(T_G^n)^3 + h + L\beta h_q \frac{\partial q_G}{\partial T_G} + \frac{2k_g}{\Delta z} \right] \Delta T_G^n = S_{n\downarrow} + L_{a\downarrow} - \varepsilon\sigma(T_G^n)^4 + h(T_a - T_G^n) + L\beta h_q [q_a - q_G(T_G^n)] + k_g \frac{T_{g,1}^n - T_G^n}{\Delta z/2} \quad (4.27)$$

手順2：固体温度分布 $T_{g,k}$ の計算

式(4.26)から計算される固体表面温度 T_G^n を用いて、境界条件式(4.20)および式(4.21)または式(4.22)のもと、式(4.23)を解くと、 $(n+1)$ 時刻レベルの固体温度分布 $T_{g,k}^{n+1}$ が与えられる。

(3) 空調システム

室内熱負荷

室内熱負荷は以下の式で建物ごとに総和をとる。

$$\text{熱負荷 (顕熱)} = \text{日射熱} + \text{貫流熱} + \text{内部発生顕熱} + \text{換気 (顕熱)} \quad (4.28)$$

$$\text{熱負荷 (潜熱)} = \text{内部発生潜熱} + \text{換気 (潜熱)} \quad (4.29)$$

$$\text{室内熱負荷} = \text{熱負荷 (顕熱)} + \text{熱負荷 (潜熱)} \quad (4.30)$$

①日射熱：

四周の窓面から室内に入射する日射熱を建物全体で総和。

②貫流熱：

四周の壁面(窓含む)と屋根・屋上面から室内に入射する貫流熱を熱伝導方程式から、建物全体で総和を取る。

③換気：

換気に伴う空気交換による熱負荷は次式で与える。

$$\begin{aligned} H_{vs} &= \beta C_{pa} \rho_a V (T_a - T_r) \\ H_{vl} &= \beta L \rho_a V (q_a - q_r) \end{aligned} \quad (4.31)$$

ここで、 H_{vs} ：換気による顕熱[W]、 H_{vl} ：換気による潜熱[W]、 β ：換気効率[-]、 C_{pa} ：空気の定圧比熱[J/(kg・K)]、 ρ_a ：外気の密度[kg/m³]、 V ：換気量[m³/s]、 L ：蒸発潜熱[J/kg]、 T_a ：外気の温度[K]、 T_r ：室内の気温[K]、 q_a ：外気の比湿[kg/kg]、 q_r ：室内の比湿[kg/kg]である。

④単位時間当たりの換気回数および建物容積：入力データより与える。

⑤内部発生顕熱、内部発生潜熱：入力データより与える。

屋外への放熱

屋外への放熱量は次のように評価する。

$$\text{顕熱} = \text{SHF} * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (顕熱)} \quad (4.32)$$

$$\text{潜熱} = (1 - \text{SHF}) * (\text{室内熱負荷} + \text{室内熱負荷} / \text{COP}) - \text{換気 (潜熱)} \quad (4.33)$$

ここで、SHFは顕熱比、COPは空調システム効率である。放熱位置については、住宅(戸建、集合)は壁面から均一に放熱することとし、住宅以外は屋上面から集中的に放熱する。

(4) 数値計算法

(a) 地物表面の面素分割

地物表面は複数の面素に分割し、表面熱収支や貫流熱などの計算は分割された面素単位で行う。流体計算や構造計算など連続体の計算を行うとき空間を計算格子に分割するのと同様の考え方である。分割方法はさまざま考えられるが、街区大気モデルの境界条件として用いたり、街区大気モデルとの連成計算を行ったりすることを考えると、街区大気モデルの計算格子を利用して面素分割するのが都合がよいと考えられる。

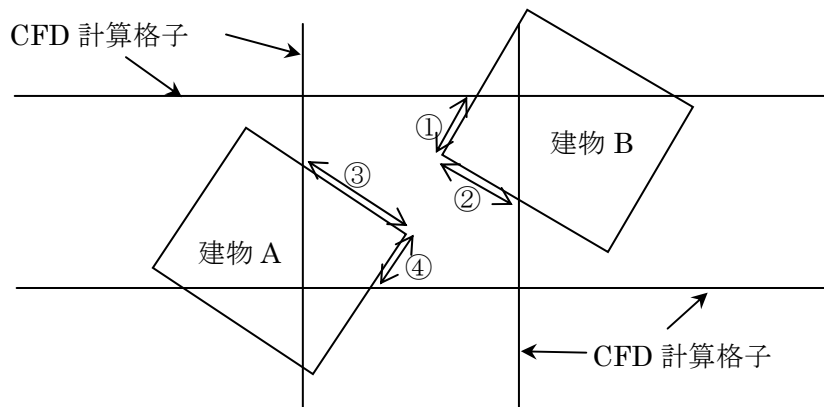


図 4.21 CFD 計算格子による地物表面の面素分割

図 4.21 は CFD 計算格子によって建物壁面を分割する要領を示したものである。建物 A の壁面は③と④の面素に分割され、建物 B の壁面は①と②の面素に分割される。日陰/日向の判定や直達光の入射角の評価なども面素単位でおこなうため、同じ CFD 計算セルに属する場合であっても法線ベクトルや表面被覆などが異なる場合は異なる面素に分割される。分割された面素には次のような属性が付与される。

記号	内容
i, j, k	面素が含まれる CFD 計算格子インデックス
area	面素の面積
nx, ny, nz	面素の単位法線ベクトル
ptyp	面素タイプ (建物、樹冠、土地)
styp	表面 ID
blid	建物 ID

単位法線ベクトルは任意の向きを与えることができるため、本来の地物表面の向きを正確に取り扱うことができる。面素タイプが「建物」の場合は建物 ID によりその面素がどの建物の面素であるかを認識し、表面 ID により屋上か壁面か窓ガラスかを認識する。面素タイプが「土地」の場合は表面 ID により土地利用属性を認識する。面素タイプが「樹冠」の場合は格子インデックス(i,j,k)により CFD 計算格子で分割された樹冠セルを認識する (図 4.22)。

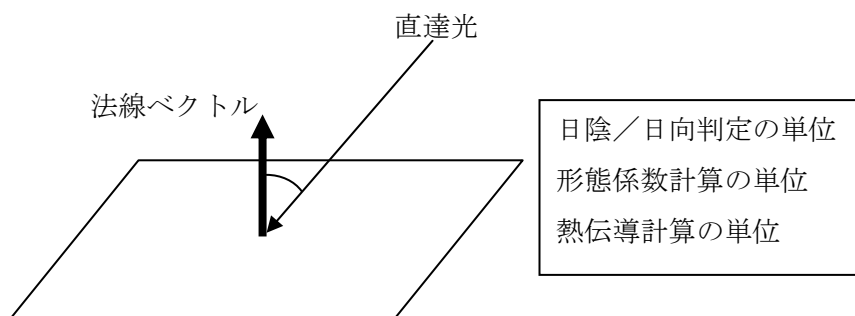


図 4.22 面素に付与される役割の概念図

(b) 表面物性・熱物性の割り当て

表面 ID により次の情報が管理される (図 4.23)。

- ・ 面素位置：屋上、壁、窓ガラス、その他(土地面素、樹冠面素の場合)
- ・ 構成材の層数
- ・ 各層の厚さと物性値 ID

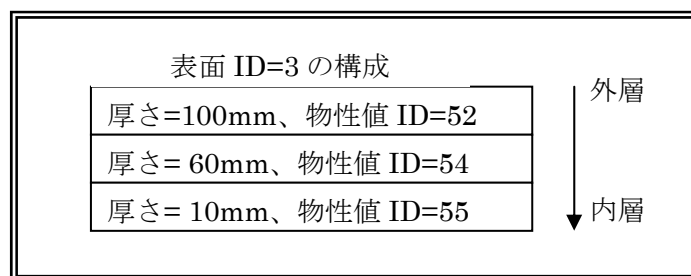


図 4.23 表面 ID が管理する情報のイメージ

物性値 ID により次の情報が管理される。

- ・ 表面物性：アルベト、射出率、蒸発効率
- ・ 熱物性：密度、熱容量、熱伝導係数

(c) 建物熱負荷の集計

面素に付与された建物 ID により、面素ごとに計算された貫流熱、日射熱を建物 ID ごとに集計し、各建物の熱負荷を計算する。

(d) 直達入射量の計算

太陽の方向を示す単位ベクトルを (S_x, S_y, S_z) とするとき、面素に付与された法線単位ベクトル (n_x, n_y, n_z) と日陰/日向判定フラグ s (日陰のときゼロ) を用いて、直達入射量 S_d [W/m²] は次のように計算される。

$$\begin{aligned} S_d &= (1 - \alpha) S_{\perp} \cos \theta \times s \\ \cos \theta &= S_x n_x + S_y n_y + S_z n_z \end{aligned} \quad (4.34)$$

ここで、 α はアルベド、 S_{\perp} は法線面直達日射量 [W/m²]、 θ は太陽位置ベクトルと面素の法線ベクトルがなす角 [rad.] である。

(e) 貫流熱の計算

面素ごとの貫流熱 F_{trans} [W/m²] は、固体内熱伝導計算で計算される室内壁表面の温度 T_v [K]、室内温度 T_r [K] および熱伝達係数 h_r [W/(m² · K)] を用いて次のように計算される。

$$F_{trans} = h_r (T_v - T_r) \quad (\text{室内に入る側を正}) \quad (4.35)$$

(f) 日射熱の計算

窓ガラス面素ごとの日射熱 F_{insol} [W/m²] は、前記(d)項と同様の記号を用いて Lambert 則により次のように計算される。

$$F_{insol} = S_d \exp\left(-k \frac{d}{\cos \theta}\right) \quad (4.36)$$

ここで、 k [1/m] は消散係数、 d は窓ガラスの厚さ [m] である。

日射熱は全量が直接室内空気に吸収される訳ではなく、その多くは床面や内壁など室内構造物に吸収されたのち熱伝達により室内空気に還元される。本モデルでは室内構造物を床で代表させる。床の熱容量を C_f [J/K] とし、日射熱のうち床面に吸収される割合を α_f 、室内空気に吸収される割合を $(1 - \alpha_f)$ とする。このとき床面温度の変化を記述する方程式は次のようになる。

$$C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = \alpha_f \frac{Q_{insol}}{N_f} + A_f h (T_r - T_f) \quad (4.37)$$

ここで、 Q_{insol} : 建物への日射熱[W]、 N_f : 階数、 A_f : 床面積[m²]、 h : 熱伝達係数[W/(m²・K)]、 T_r : 室温[K]、 T_f : 床面温度[K]である。このとき、室温の変化を記述する方程式は次のようになる。

$$\rho C_p V \frac{\partial T_r}{\partial t} = Q_{total} - \alpha_f Q_{insol} + N_f A_f h (T_f - T_r) \quad (4.38)$$

ここで、 ρ : 空気の密度[kg/m³]、 C_p : 空気の定圧比熱[J/(kg・K)]、 V : 室内体積[m³]、 Q_{total} : 建物への全熱負荷[W]である。また、床面と交換する熱量 $N_f A_f h (T_f - T_r)$ [W]は空調負荷に算入する。

(g) 間欠空調

運転時間を考慮して間欠的に空調システムを動作させるモデルを導入している。運転開始時刻、終了時刻をそれぞれ t_1, t_2 [s]とし、運転開始から設定温度 T_s に到達するまでの時間を Δt_r とする。非運転時間においては室温 T_r の変化を式(4.39)により計算する。一般には運転開始時において室温は設定温度と乖離があるため、時刻 t_1 から $t_1 + \Delta t_r$ までの間は Q_{adjust} [W]だけ空調負荷が増減する。

$$Q_{adjust} = \rho C_p V \frac{T(t_1) - T_s}{\Delta t_r} \quad (4.39)$$

(h) 放射熱伝達の計算

放射熱伝達の計算法として、Gebhart の吸収係数法と射度法が代表的である。

[Gebhart の吸収係数法]

Gebhart の吸収係数 B_{ij} は次式で定義される。

$$B_{ij} - \sum_{k=1}^n B_{kj} (1 - \varepsilon_k) F_{ik} = \varepsilon_j F_{ij} \quad (4.40)$$

ここで、 F_{ij} は i 面から j 面を望んだときの形態係数 (i 面から放射された熱エネルギーの内、 j 面に到達する割合)である。また、 ε_i : i 面の放射率、 n : 固体表面の総分割数である。このとき、 i 面から出てゆく正味の熱量 Q_i^G は次式で与えられる。

$$Q_i^G = R_i - \sum_{j=1}^n B_{ji} R_j \quad (4.41)$$

ただし、 R_i は i 面からの放射熱エネルギーで、次のように表される。

$$R_i = \sigma \varepsilon_i A_i T_i^4 \quad (4.42)$$

ここで、 σ : Stefan-Boltzmann 定数、 A_i : i 面の面積、 T_i : i 面の温度である。

[射度法]

射度 G_i は次式で定義される。

$$G_i = R_i + (1 - \varepsilon_i) \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} \quad (4.43)$$

このとき、 i 面から出てゆく正味の熱量 Q_i^S は次式で与えられる。

$$Q_i^S = G_i - \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} = R_i - \varepsilon_i \sum_{j=1}^n G_j F_{ji} \quad (4.44)$$

ここで、これら二つの方法が等価であることを示すため、以下に $Q_i^S = Q_i^G$ であることを証明する。

式(4.40)を行列表示すると次のようになる。

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{B} = \mathbf{C} \quad (4.45)$$

ここで、行列 \mathbf{A}, \mathbf{C} は n 次正方行列で、その成分 a_{ij}, c_{ij} は次のように与えられる。

$$a_{ij} = (1 - \varepsilon_j) F_{ij}, \quad c_{ij} = \varepsilon_j F_{ij} \quad (4.46)$$

また、行列 \mathbf{B} の成分は Gebhart 吸収係数 B_{ij} であり、行列 \mathbf{I} は n 次単位行列である。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} B_{11} & \cdots & B_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

式(4.41)を行列表示すると次のようになる。

$$\mathbf{Q}^G = \mathbf{R} - \mathbf{B}^T \mathbf{R} \quad (4.48)$$

ここで、上付添字 T は転置行列であることを表す。また、ベクトル \mathbf{Q}^G および \mathbf{R} は n 次列ベクトルで、その成分は正味の放出熱量 Q_i^G および放射熱エネルギー R_i である。

$$\mathbf{Q}^G = \begin{bmatrix} Q_1^G \\ \vdots \\ Q_n^G \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

同様に、式(4.43)、式(4.44)を行列表示するとそれぞれ次のようになる。

$$\mathbf{G} = \mathbf{R} + \mathbf{A}^T \mathbf{G} \quad (4.50)$$

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{C}^T \mathbf{G} \quad (4.51)$$

ここで、ベクトル \mathbf{Q}^S および \mathbf{G} は n 次列ベクトルで、その成分は正味の放出熱量 Q_i^S および射度 G_i である。

$$\mathbf{Q}^S = \begin{bmatrix} Q_1^S \\ \vdots \\ Q_n^S \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} G_1 \\ \vdots \\ G_n \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

式(4.50)より、

$$\mathbf{G} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{R} \quad (4.53)$$

であるから、これを式(4.51)に代入すると、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{C}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{R} \quad (4.54)$$

を得る。式(4.45)より、

$$\mathbf{C}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1} = \mathbf{B}^T \quad (4.55)$$

であるから、これを式(4.54)に代入すれば、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{R} - \mathbf{B}^T \mathbf{R} \quad (4.56)$$

となり、式(4.56)と式(4.48)とを比較すれば、

$$\mathbf{Q}^S = \mathbf{Q}^G \quad (4.57)$$

であることが分かる。

以上により、数学的には吸収係数法、射度法のどちらを適用しても放射熱伝達の計算は可能であるが、数値計算法としては必ずしも「等価」とはいえない。居室内のようにどの面素からも実質的にほぼすべての面素が見えてしまう体系と、実街区のように近傍の面素しか見えず、実質的に大部分の面素が見えない体系とでは、二つの方法で優劣が逆転すると考えられる。以下、この点を検討する。

まず、計算機のコアメモリに格納する必要がある情報は、Gebhart 法の場合は吸収係数 B_{ij} であり、射度法の場合は形態係数 F_{ij} である。居室内のようにどの面素からも実質的にほぼすべての面素が見えてしまうような体系ではどちらも配列要素数は n^2 (n は面素の総数) であり相違いはない。Gebhart 法では放射熱伝達計算を開始する前に予め連立方程式を解いて吸収係数 B_{ij} を求めておけば放射熱伝達計算のプロセスで連立方程式を解く必要がなく、各面素の正味の放熱量は計算できる。このとき総和計算に必要な演算量は各面素につき積和演算 n 回で済む。一方、射度法の場合では、放射熱伝達計算のプロセスにおいて都度、連立方程式を解く必要があり、積和演算は「 $n \times$ 行列解法の反復回数」だけ必要となり、演算量については圧倒的に不利となる。ところが、実街区のように直接見えている面素の数が総面素数 n に比べて十分小さい場合は、状況が逆転する。面素から直接見える面素数が平均で n_v であるとする。射度法の場合、コアメモリに格納するのは形態係数 F_{ij} であるから必要な配列要素数は $n \times n_v$ となる。一方、Gebhart 法の場合、面素 i から面素 j に反射した後に面素 k に入射するプロセスを考慮するため、1 回反射した時点で面素 i から放射エネルギーを受ける面素数は $n_v \times n_v$ となる。2 回反射時点で n_v^3 、3 回反射した時点で n_v^4 と増加することになり吸収係数 B_{ij} に必要な配列要素数は $n \times n_v^2$ 、 $n \times n_v^3$ 、 $n \times n_v^4$ 、

とねずみ算式に増加することになる。もちろん、反射した後に入射する面素には重複があるので、単純なねずみ算になる訳ではないが、直接には見えない面素についても吸収係数 B_{ij} を考慮しなければならないため、一般に形態係数 F_{ij} の配列要素数より数倍大きくなると考えられる。今、仮にそれを 10 倍と仮定すると、形態係数 F_{ij} のバンド幅が 100 のとき、吸収係数 B_{ij} のバンド幅は 1000 になる。このとき、Gebhart 法では式(1.5.7.2)の総和計算に必要な演算量は各面素につき積和演算 1000 回となり、射度法では連立方程式を解くために積和演算は「100×行列解法の反復回数」となる。射出率は 0.9 程度すなわち反射率は 0.1 程度であるから、連立方程式は十分に優位対角な係数行列であるため、反復回数は数回程度と考えられる。反復回数は収束判定誤差に依存するが、何回反射する先まで吸収係数を考慮するかということとパラレルな関係にあると考えられるため、演算量については互角か射度法優位と考えられる。そうすると、メモリ量で圧倒的に優位である斜度法の方が、実街区の場合には有利であると考えられる。本モデルでは射度法を採用した。

(5) 物性値

本モデルで必要となる物性値の例を表 4.7、表 4.8 および表 4.9 にそれぞれ示す。

表 4.7 地表面の熱物性値

地表面被覆	反射率	蒸発効率		射出率	密度 [kg/m ³]	比熱 [J/(kg·K)]	熱拡散係数 [mm ² /s]
		夏季	冬季				
建物敷地	0.18	0.02	0.02	0.96	2400	0.88	0.72
アスファルト	0.18	0	0	0.91	2100	0.88	0.38
草地	0.16	0.3	0.05	0.95	1800	1.18	0.53
樹木面	0.16	0.3	0.05	0.95	1800	0.00	0.00

表 4.8 建築材の熱物性値

建築材	密度 [kg/m ³]	比熱 [kJ/(kg·K)]	熱拡散率 [mm ² /s]	熱伝導率 [W/(m·K)]
板ガラス	2540	0.77	0.40	0.78
アスファルト	2100	0.88	0.38	0.70
コンクリート	2400	0.79	0.69	1.31
グラスウール	32	0.84	1.34	0.036
石膏ボード	910	1.13	0.14	0.14
瓦	2000	0.76	0.63	0.96
木板	550	1.30	0.21	0.15
プライウッド	550	1.30	0.21	0.15

表 4.9 屋上・屋根や壁面、窓面の建材の仕様と厚さ

構造	位置	層No (外→内)	厚さ[m]	建材	
RC造	屋上・ 屋根	1	0.01	アスファルト	
		2	0.12	コンクリート	
		3	0.05	グラスウール	
		4	0.01	石膏ボード	
	壁面	1	0.1	コンクリート	
		2	0.06	グラスウール	
		3	0.01	石膏ボード	
	窓面	1	0.008	板ガラス	
	木造	屋上・ 屋根	1	0.03	瓦
			2	0.01	木板
3			0.01	アスファルト	
4			0.05	グラスウール	
5			0.01	石膏ボード	
壁面		1	0.02	プライウッド	
		2	0.05	グラスウール	
		3	0.01	石膏ボード	
窓面		1	0.003	板ガラス	

(6) 街区空調負荷モデルの計算の流れ

街区空調負荷モデルの概要及び計算フローチャートを図 4.24 に示す。

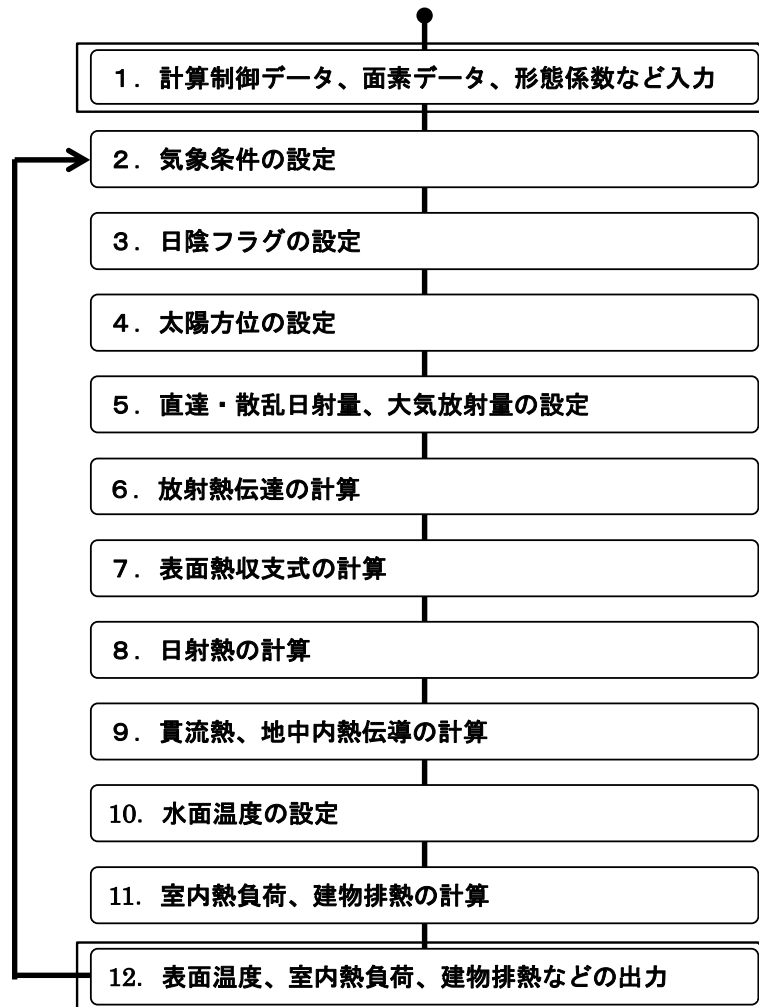
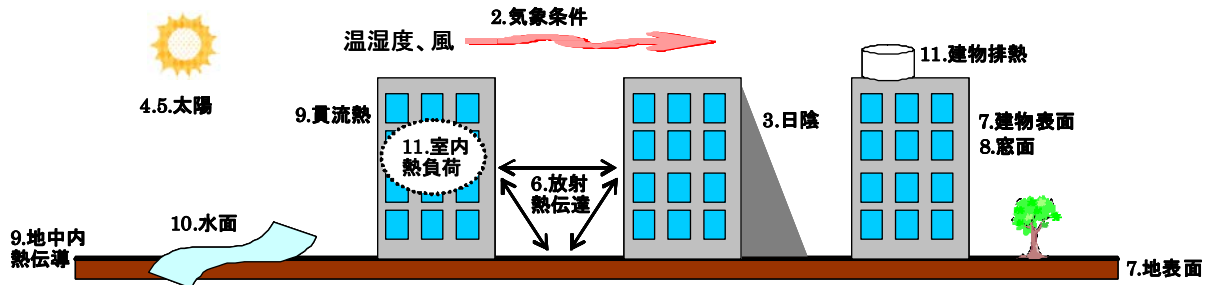


図 4.24 街区空調負荷モデルの概要及び計算フローチャート

(7) 街区大気モデルとの連成

(a) 街区大気モデル

大気モデルでは圧縮性を考慮した方程式系を取り扱う。音波は SIMPLE 法により陰的に除去し、陽には取り扱わない。建物形状の近似精度を向上させるため、FAVOR (Fractional-Area-Volume Obstacle Representation)法により流体体積占有率 G を考慮している。また、乱流モデルには標準型 $k-\varepsilon$ モデルを採用している。ファブル平均（密度の重みをかけた平均、質量加重平均）により、密度変動の相関を簡易的に取り扱う。

[1] 混合気体の質量保存方程式

$$G_v \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho u_j) = 0 \quad (4.58)$$

[2] 混合気体の運動量保存方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho u_i u_j) = -G_v \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_j (\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + G_v \rho g_i + G_v \rho F_i + G_v \rho f(\mathbf{v} \times \mathbf{k})_i \quad (4.59)$$

$$F_i = a C_d u_i \sqrt{u_j^2} \quad (4.60)$$

ここで、 f は Coriolis パラメータで $f = 2\Omega \sin \phi$ 。ただし、 $\Omega = 2\pi / 86400$ 秒、緯度 $\phi = 35.4$ 度。また、 a ：葉面積密度 $[=1.5\text{m}^2/\text{m}^3]$ 、 C_d ：樹冠の抵抗係数 $[=0.2]$ 。

[3] 混合気体のエネルギー方程式

$$C_p \left[G_v \frac{\partial}{\partial t} (\rho \theta) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho \theta u_j) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_j \left(\lambda + \frac{C_p \mu_T}{Pr_T} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{P} \left[\frac{h}{V_c} \sum_m S_m (T_m - T) + Q_s \right] \quad (4.61)$$

ここで、 Q_s ：人工排熱(顕熱) $[\text{W}/\text{m}^3]$ 、 P ：Exner 関数 $[=(p/p_0)^{R/C_p}]$ 、 Pr_T ：乱流 Prandtl 数 $[=0.9]$ 。

[4]水蒸気の質量保存方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho q) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho q u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_j \left(\frac{\mu}{Sc} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \right) \frac{\partial q}{\partial x_j} \right] + \left(\frac{S_G}{V_c} F_q + \frac{Q_L}{L} \right) \quad (4.62)$$

$$F_q = \beta h_q (q - q_G) \quad (4.63)$$

$$q_G = \frac{0.622(e_{sat}/p)}{1 - 0.378(e_{sat}/p)} \quad (4.64)$$

$$e_{sat} = 6.11 \times 10^2 \cdot \exp \left[\frac{L}{R_v \cdot 273} \left(1 - \frac{273}{T_G} \right) \right] \quad (4.65)$$

ここで、 β : 蒸発効率、 h_q : 物質伝達係数(= h/C_p)、 q_G : 地表面飽和比湿、 Q_L : 人工排熱(潜熱)[W/m³]、 L : 蒸発潜熱[J/kg]、 Sc_T : 乱流 Schmidt 数[=0.9]。

[5] k - ε 方程式

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_j \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_v (P_k + G_k - \rho \varepsilon + \rho u_j F_j) \quad (4.66)$$

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (G_j \rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[G_j \left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_v \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k + C_{\varepsilon 3} \max[0, G_k] - C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon + C_{p\varepsilon 1} \rho u_j F_j) \quad (4.67)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.68)$$

$$P_k = \left[\mu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (4.69)$$

$$G_k = \frac{\mu_T}{Pr_T} \frac{g_i}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x_i} + \frac{\mu_T}{Sc_T} \frac{g_i}{R} \left(\frac{R_o}{M_v} - \frac{R_o}{M_a} \right) \frac{\partial q}{\partial x_i} \quad (4.70)$$

ここで、 M_v : 水蒸気の分子量[kg/mol]、 M_a : 乾燥空気の分子量[kg/mol]。また、補正係数 $C_{p\varepsilon 1} = 1.8$ 。

(b) 数値計算法

離散化は3次元 Cartesian 座標系を用い、基礎方程式は有限差分法による。変数配置は、流速各成分をセル境界面に、密度、温度、圧力などのスカラー量をセル中心に配置するスタガードグリッドを採用した。移流項は1次精度風上差分、拡散項は2次精度中心差分により離散化した。流れ場の時間積分は、完全陰解法を用いた。

1) 空間差分

離散化にあたってはセル中心で定義される流体体積占有率とセル界面で定義される流体の体積占有率を区別して取り扱う。以上で示した各基礎方程式はすべて以下の形に表すことができる。

$$G_v \frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho \phi u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(G_j D \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + G_v \rho S \quad (4.71)$$

以下では式(4.71)に基づいて離散化の要領を説明する。連続式

$$G_v \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho u_j) = 0 \quad (4.72)$$

に物理量 ϕ を掛けて、式(4.71)から引くと、

$$G_v \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho \phi u_j) - \phi \frac{\partial}{\partial x_j}(G_j \rho u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(G_j D \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + G_v \rho S \quad (4.73)$$

x 方向について式(4.73)の移流項を離散化すると、

$$\frac{1}{\Delta x_i} \left[(G_{x,i+1/2} \phi_{i+1/2} (\rho u)_{i+1/2} - \phi_{i-1/2} G_{x,i-1/2} (\rho u)_{i-1/2}) - \phi_i (G_{x,i+1/2} (\rho u)_{i+1/2} - G_{x,i-1/2} (\rho u)_{i-1/2}) \right] \quad (4.74)$$

ここで、 G_v : セル中心で定義される有効体積占有率、 G_x : x 軸に垂直なセル界面で定義される面積開口率、である。半整数の形 (例えば $i+1/2$ など) で表記される添字はセル界面で定義されることを表し、整数の形 (例えば i など) で表記される添字はセル中心で定義されることを表す。

拡散項についても同様に次のように離散化される。

$$\frac{1}{\Delta x_i} \left[G_{x,i+1/2} D_{i+1/2} \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x_{i+1/2}} - G_{x,i-1/2} D_{i-1/2} \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x_{i-1/2}} \right] \quad (4.75)$$

離散化の要領は y 方向、z 方向も同様である。

2) 時間積分

完全陰解法の説明のため、流体体積占有率に関する記述を省略し、以下の表記にて基礎方程式を再掲する。

[1]質量保存方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (4.76)$$

[2]運動方程式

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + R_{ui} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (4.77)$$

[3]エネルギー方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + R_\theta = 0 \quad (4.78)$$

[4]比湿の質量保存方程式

$$\frac{\partial q}{\partial t} + R_q = 0 \quad (4.79)$$

[5] $k - \varepsilon$ 方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + R_k = 0 \quad (4.80)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + R_\varepsilon = 0 \quad (4.81)$$

エネルギー方程式および比湿の質量保存方程式を、時間後退差分を用いて離散化する (Euler 陰解法)。

$$\left[\frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \left(\frac{\partial R_\theta}{\partial T} \right)^n \right] \Delta^n \theta = -R_\theta^n \quad (4.82)$$

$$\left[\frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \left(\frac{\partial R_q}{\partial q} \right)^n \right] \Delta^n q = -R_q^n \quad (4.83)$$

$$\Delta^n \theta = \theta^{n+1} - \theta^n, \quad \Delta^n q = q^{n+1} - q^n \quad (4.84)$$

状態方程式から次点の密度を計算する。

$$\rho^{n+1} = p^n / (RT^{n+1}) \quad (4.85)$$

運動方程式を 2 段階分離し離散化する。

$$\left[\frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \left(\frac{\partial R_{ui}}{\partial u_i} \right)^n \right] \Delta^n u_i = -R_{ui}^n \quad (4.86)$$

$$\Delta^n u_i = \tilde{u}_i - u_i^n \quad (4.87)$$

$$\Delta^n (\rho u_i) = -\Delta t' \frac{\partial(\delta p)}{\partial x_i} \quad (4.88)$$

$$\Delta^n (\rho u_i) = (\rho u_i)^{n+1} - \rho^{n+1} \tilde{u}_i \quad (4.89)$$

$$\frac{1}{\Delta t'} = \frac{1}{\Delta t} + \frac{1}{C} \left(\frac{\partial R_{ui}}{\partial u_i} \right)^n \quad (4.90)$$

式(4.88)の発散をとると、

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Delta t' \frac{\partial(\delta p)}{\partial x_j} \right) = \frac{\rho^{n+1} - \rho^n}{\Delta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho^{n+1} \tilde{u}_j) \quad (4.91)$$

$k - \varepsilon$ 方程式を、時間後退差分を用いて離散化する(Euler 陰解法)。

$$\left[\frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \left(\frac{\partial R_k}{\partial k} \right)^n \right] \Delta^n k = -R_k^n \quad (4.92)$$

$$\Delta^n k = k^{n+1} - k^n \quad (4.93)$$

$$\left[\frac{1}{\Delta t} + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \left(\frac{\partial R_\varepsilon}{\partial \varepsilon} \right)^n \right] \Delta^n \varepsilon = -R_\varepsilon^n \quad (4.94)$$

$$\Delta^n \varepsilon = \varepsilon^{n+1} - \varepsilon^n \quad (4.95)$$

式(4.82)、式(4.83)、式(4.86)、式(4.92)、式(4.94)に現れる係数行列は非対称行列となるので Bi-CGSTAB 法により計算する。また、式(4.91)のポアソン方程式に現れる係数行列は対称行列となるので ICCG 法により計算する。

(c) 境界条件

アメダスデータなどから境界条件を設定する場合の要領を以下に説明する。

1) 風速

1/7 乗則により鉛直プロファイルを与える。

$$\frac{u}{u_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{1/7} \quad (4.96)$$

ここで、 z_0 : 測定高[m]、 u_0 : 測定風速[m/s]である。東京アメダス測定高は 6.1m である。

2) 温位および比湿

毎時の観測値を一様に設定する。

3) 上空境界の圧力

上空境界の圧力は等温位場における静水圧分布の式

$$p^n = (p_{z=0})^n - \frac{ngp_0^n}{R\theta} z \quad (n = R/C_p) \quad (4.97)$$

から計算する。ここで、 $p_0 = 1000$ [hPa]、 $R = 287$ [J/(kg·K)]、 $C_p = 1005$ [J/(kg·K)]、 $g = 9.8$ [m/s²]である。

4) k および ε

乱流エネルギー k および乱流エネルギー散逸率 ε の鉛直プロファイルは、

$$\mu_T \frac{\partial u}{\partial z} = \text{一定} \quad , \quad \varepsilon = \sqrt{C_\mu} k \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4.98)$$

を仮定する。すなわち、

$$\rho k = \text{一定。}$$

ただし、簡単のため密度 ρ を一定とするため、実際は $k = \text{一定}$ とする。一定とする乱流エネルギー k は次のように計算する。風速に関する鉛直プロファイルを与える 1/7 乗則を適用して地表面付近 $z_1 = 0.5$ m における風速 u_1 を計算する。

$$\frac{u_1}{u_0} = \left(\frac{z_1}{z_0} \right)^{1/7} \quad (4.99)$$

地表面付近では対数則を適用して、摩擦速度 u^* を計算する。

$$\frac{u_1}{u^*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z_1 u^*}{\nu} \right) + A \quad (4.100)$$

これより乱流エネルギー k は次のように与えられる。

$$k = \frac{(u^*)^2}{\sqrt{C_\mu}} \quad (4.101)$$

境界条件の設定要領をまとめると表 4.10 のようになる。

表 4.10 上空および側方境界条件

上空面	圧力固定。 u, v 固定。 温位固定。 比湿固定。 k, ε 固定。 (圧力を固定するのでwは Kappa の計算により決められる)
流入出面	圧力勾配ゼロ。 u, v, w 固定。 境界風速が流入の場合 温位固定。 比湿固定。 k, ε 固定。 境界風速が流出の場合 温位勾配ゼロ。 比湿勾配ゼロ。 k, ε 勾配ゼロ。
地表面 壁面	圧力勾配ゼロ。 対数則。

(d) 街区大気モデルの計算の流れ

街区大気モデルの概要及び計算フローチャートを図 4.25 に示す。

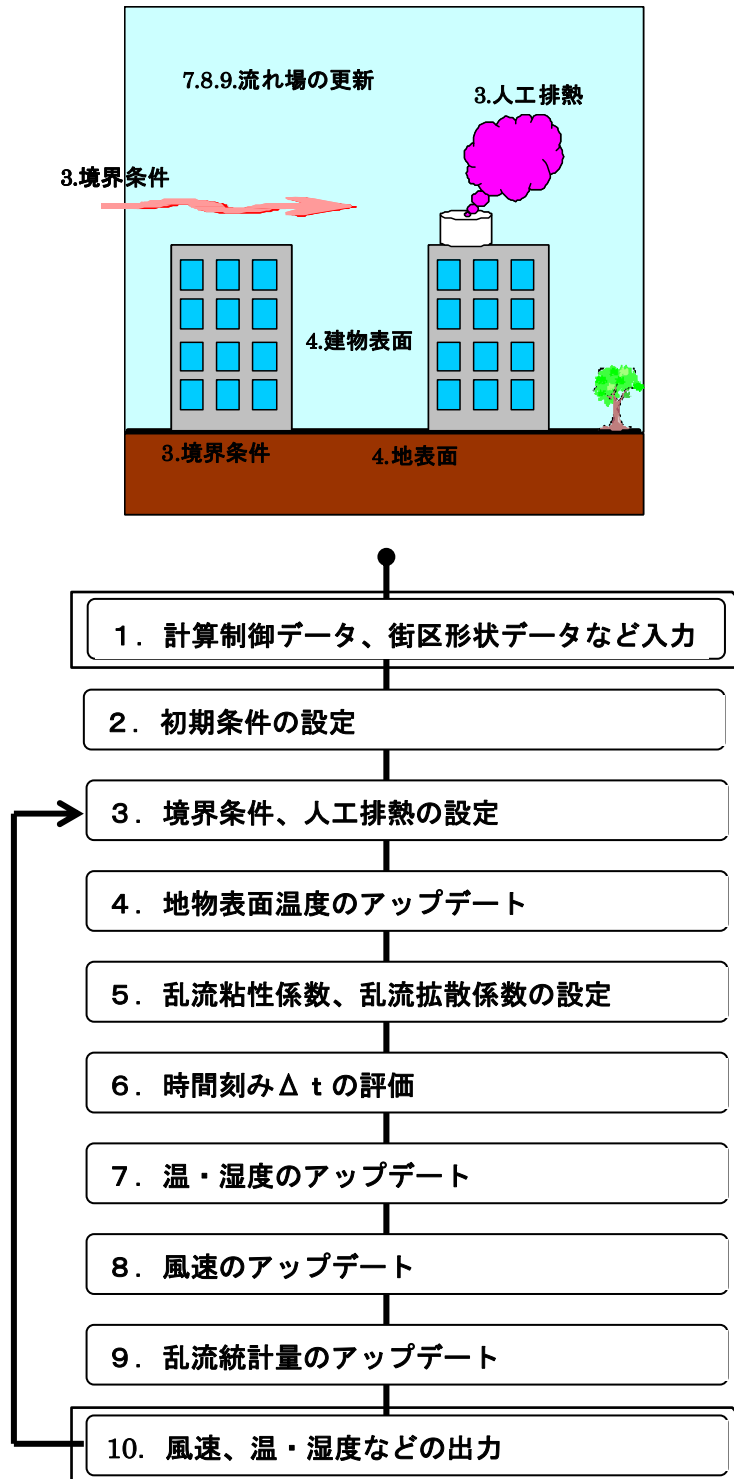


図 4.25 街区大気モデルの概要及び計算フローチャート

(8) 連成手法

(a) 顕熱・潜熱輸送の連成手法

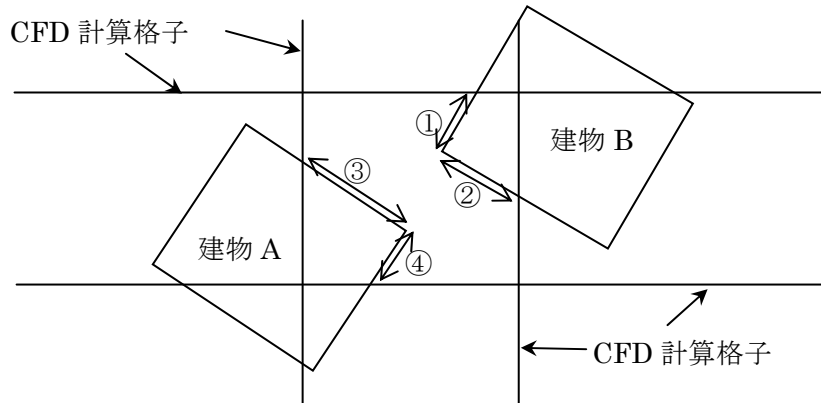


図 4.26 CFD 計算格子と建物壁面の配置

図 4.26 に示すように、建物壁面は CFD 計算格子により複数の面素に分割される。①～④で示した部分が分割された面素である。地表面も同様に CFD 計算格子により面素に分割される。建物表面および地表面と大気との間の顕熱・潜熱輸送は CFD 計算セルおよび面素単位に評価する。

(b) 時間積分の取り分け

CFD 計算での時間刻みは 5 m 格子の場合、陽的な安定条件からは 1 秒程度である。ただし、本作業で用いる CFD モデルは陰解法を採用しているため、数十秒ないし数百秒の時間刻みでも安定に計算を進めることができる。一方、空調負荷計算モデルは壁面内の熱伝導計算に差分法を適用しているが、同様に陰解法を適用しているため時間刻みの制約は緩和されているので、時間積分の精度のみを考慮して 10 分～15 分の時間刻みを適用することが多い。プログラム実装上は CFD 計算数ステップに対して空調モデル計算 1 回を行うようにする。

(c) 領域分割法による並列計算

空調負荷計算モデルでは、建物・地表面間の放射熱伝達計算を除けば隣接領域とのデータ通信は必要なく、データ分散するだけで並列計算が可能となる。また、CFD モデルと空調負荷計算モデルとで同一の領域分割を適用すれば、これら二つのモデル間における情報

交換の際にもデータ通信は必要ない。以上により、領域分割法により隣接領域との間で新たにデータ通信が必要となる演算は放射熱伝達計算のみとなる(もちろん、CFD モデルで既に発生しているデータ通信はここでは除外する)。偏微分方程式の場合では隣接領域との間で必要となるデータ通信は領域境界付近の高々数メッシュで済むが、放射熱伝達計算では数百メートルの範囲までデータ通信の対象になると考えられる。この範囲は 5m 格子の場合なら数十メッシュの範囲になる。CFD モデルの場合と比較してデータ通信によるオーバーヘッドは大きくなる。このオーバーヘッドを回避するための代替案として、データ通信が必要でない程度まで並列分割領域をオーバーラップさせる手法も考えられるが、この場合では、放射熱伝達以外の計算もオーバーラップ領域で冗長に計算する必要があるうえ、CFD モデルの領域分割と異なる領域分割を適用することによる新たなデータ通信が必要になる。放射熱伝達計算は計算量・データ量を低減できる手法も考えられるため、こうした手法も視野に入れて考えると、並列分割領域をオーバーラップさせる手法の採用は見送る方がよいと考える。データ通信のオーバーヘッドが実効効率にどの程度の影響を与えるかは、計算機スペックに依存する面もあり一律の議論は困難であるが、例えば地球シミュレータの場合では、1PE あたりのメモリ量が大きいことおよびノード間転送速度が十分であることから、ほとんど問題にならないと見込まれる。以上により、本作業では CFD モデルと空調負荷計算モデルとで同じ領域分割を適用し、放射熱伝達計算で必要となる近隣の情報をデータ通信する手法を採用した (図 4.27)。

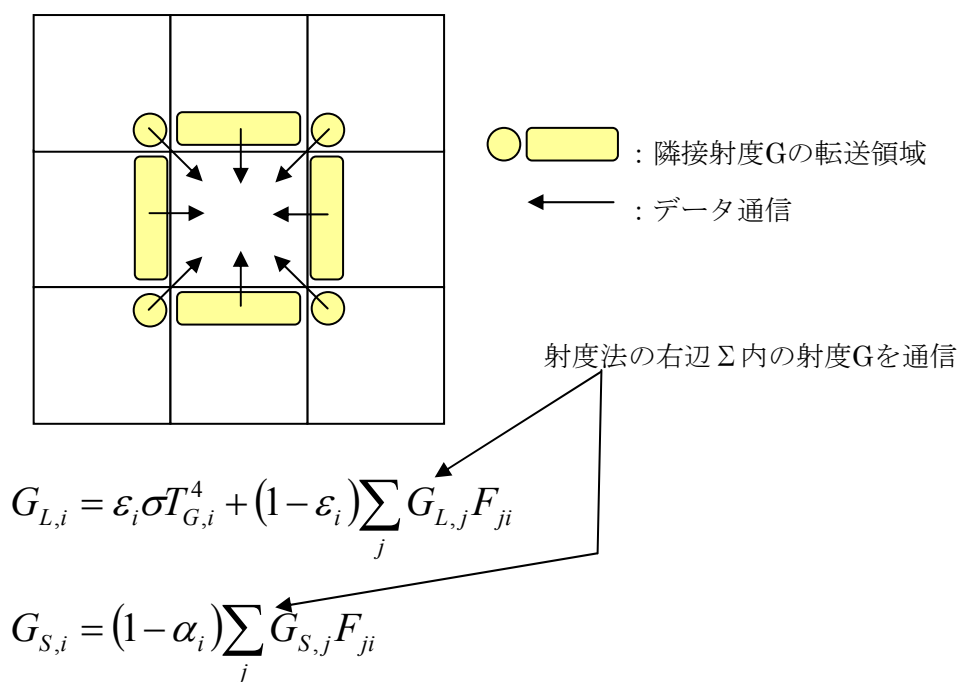


図 4.27 放射熱伝達計算でのデータ通信概念図

空調負荷計算モデルの領域分割法を適用した場合の並列計算の動作を確認するため、中野地区を図 4.28 に示すように 4 つの領域に分割して並列計算を実施した。計算は 1 月 1 日の 24 時間について実施した。領域分割しない場合と比較して、表面温度および空調負荷の結果が 10 桁程度の精度で合致していることを確認した。

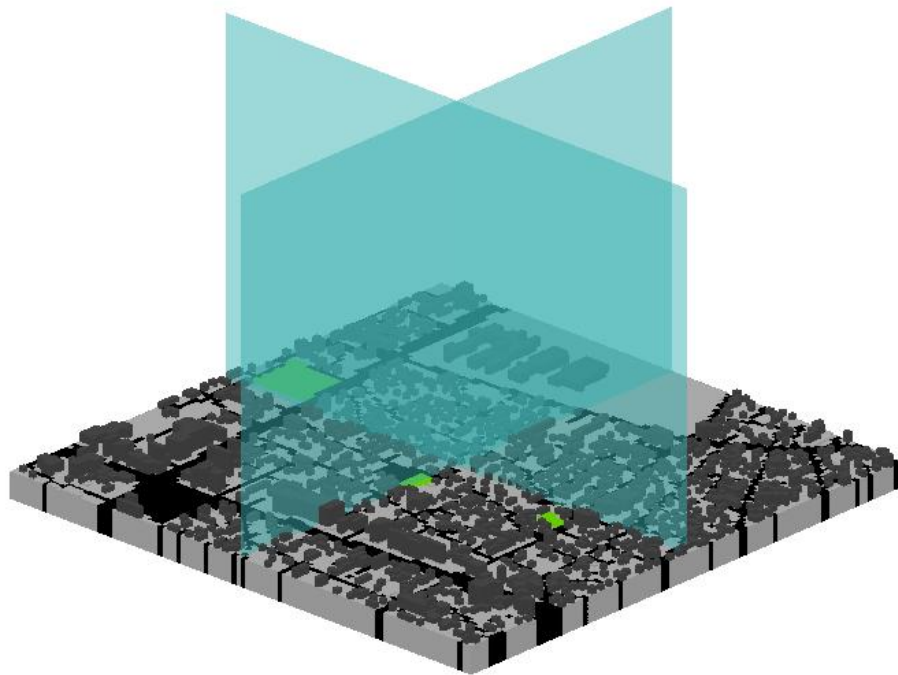


図 4.28 中野地区の並列計算における領域分割

(d) 連成処理のフローチャート

連成計算のフローチャートを図 4.29 に示す。

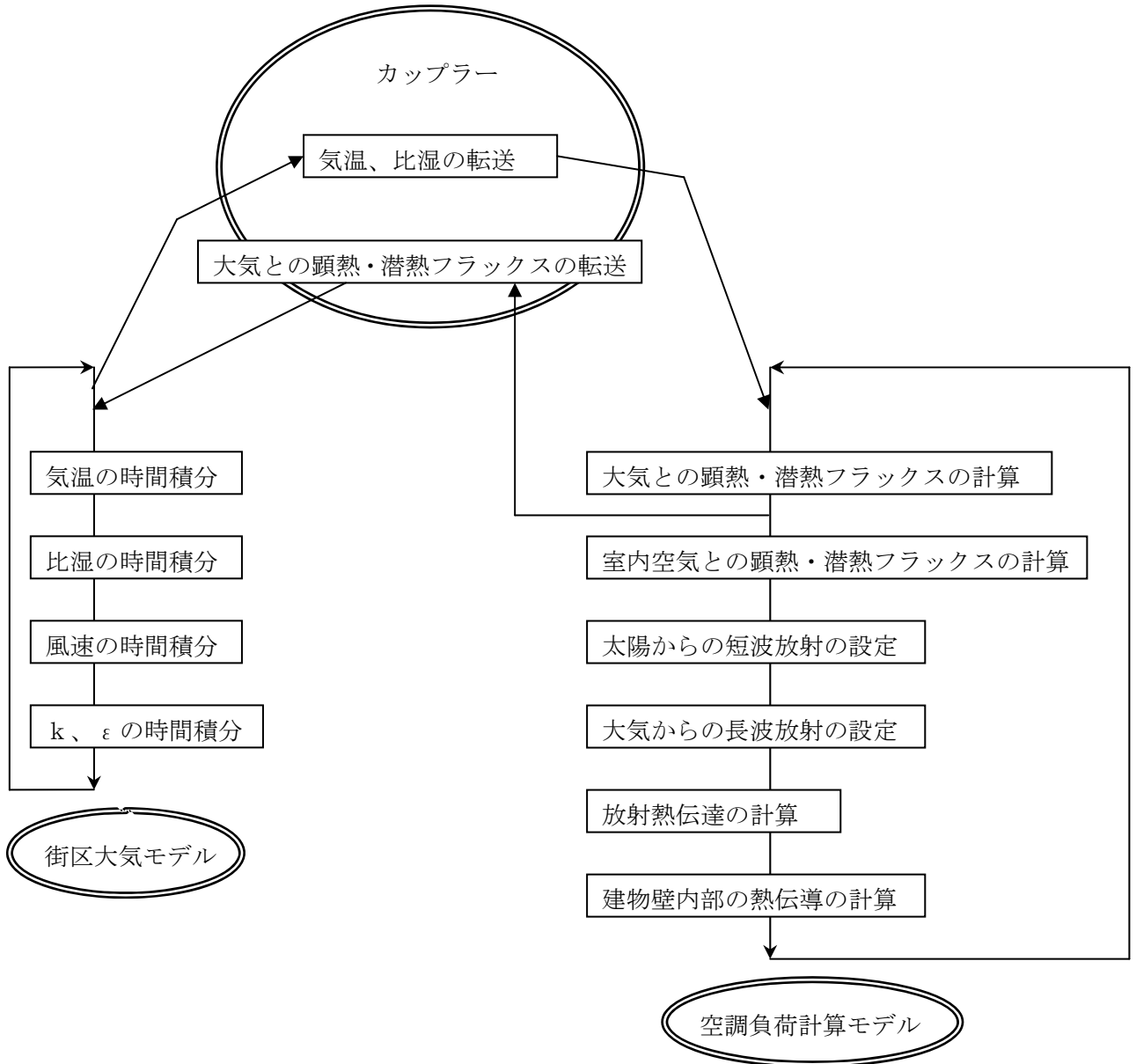


図 4.29 連成処理のフローチャート

(e) 空調負荷計算モデルのプログラム最適化

地球シミュレータを用いる場合、大規模計算に備えてベクトル計算の最適化が必要である。最適化前の性能は、ベクトル化率：85.1%、FLOPS 値：352 MFLOPS であった。

最適化にあたっては、地球シミュレータの FTRACE 機能によりルーチン単位の性能情報を取得した。表 4.11 に示すように最適化前の段階では次の三つのルーチンの性能が極端に低いことが判明した。

表 4.11 ルーチン詳細情報、最適化前

	FLOPS値	ベクトル化率	ルーチン処理概要
tsrc_cal_radref	65.1	61.76	射度法の計算
tsrc_window	40.6	65.02	窓透過光の計算
tsrc_building	114.7	52.18	空調負荷の計算

最適化後は表 4.12 に示すように大幅に改善された。

表 4.12 ルーチン詳細情報、最適化後

	FLOPS値	ベクトル化率	ルーチン処理概要
tsrc_cal_radref	868.2	99.62	射度法の計算
tsrc_window	2290.1	99.35	窓透過光の計算
tsrc_building	441.6	99.71	空調負荷の計算

tsrf_cal_radref と tsrc_builging については、間接アドレスによる総和計算が回帰参照となりベクトル化を阻害していたため、総和計算を複数のグループに分離して回帰参照を回避したうえで、ディレクティブを挿入してベクトル化を促進した。tsrc_window については、最内ループがガラス厚さ方向のベクトル長の短いループとなっていたため、面素に関するベクトル長の長いループを最内ループとするようループの入れ替えを行った。

その結果、最適化後の性能はベクトル化率：99.1%、FLOPS 値：3020 MFLOPS が得られた。地球シミュレータを利用するために必要な要件であるベクトル化率 95%以上を達成できている。また、FLOPS 値も 10 倍近く向上し、演算速度も大幅に改善されていることが分かる。

図 4.30～4.33 にプロファイラによる計算効率の診断結果を示す。

```

***** Program Information *****
Real Time (sec)           :      8747.800668
User Time (sec)          :      8586.777621
Sys Time (sec)           :         71.989732
Vector Time (sec)        :      1767.140868
Inst. Count              :     1998678108389.
V. Inst. Count           :     140425953054.
V. Element Count         :     10637730585188.
FLOP Count               :     3024183566252.
MOPS                     :     1455.258689
MFLOPS                   :         352.190740
A. V. Length             :         75.753309
V. Op. Ratio (%)         :         85.129204
Memory Size (MB)         :     1728.031250
MIPS                     :     232.762300
I-Cache (sec)           :         64.339284
O-Cache (sec)           :     3962.421798
Bank Conflict Time
  CPU Port Conf. (sec)   :         36.885675
  Memory Network Conf. (sec) :     1006.724020

Start Time (date)       : Thu Mar 22 18:38:42 JST 2012
End Time (date)        : Thu Mar 22 21:04:30 JST 2012

```

図 4.30 プログラム情報、最適化前

```

***** Program Information *****
Real Time (sec)           :      11927.256616
User Time (sec)          :      10369.002437
Sys Time (sec)           :           875.517241
Vector Time (sec)        :           9039.814160
Inst. Count              :      1514882404292.
V. Inst. Count           :      471143845911.
V. Element Count         :      112054100108999.
FLOP Count               :      31322208920015.
MOPS                     :      10907.301773
MFLOPS                   :      3020.754321
A. V. Length            :      237.834158
V. Op. Ratio (%)         :           99.077137
Memory Size (MB)        :      1728.031250
MIPS                     :      146.097217
I-Cache (sec)           :           83.938045
O-Cache (sec)           :           543.506390
Bank Conflict Time
  CPU Port Conf. (sec)   :           636.682976
  Memory Network Conf. (sec) :      6214.137536
Start Time (date)       : Thu Mar 22 21:18:41 JST 2012
End Time (date)        : Fri Mar 23 00:37:29 JST 2012

```

図 4.31 プログラム情報、最適化後

```

*-----*
FTRACE ANALYSIS LIST
*-----*

```

PROC. NAME	FREQUENCY	EXCLUSIVE TIME[sec] (%)	AVER. TIME [msec]	MOPS	MFLOPS	V. OP AVER.	VECTOR	I-CACHE	O-CACHE	BANK	
CONFLICT						RATIO	V. LEN	TIME	MISS	MISS CPU PORT	
NETWORK											
tsrf_cal_radref	19200	5982.217 (70.6)	311.574	543.4	65.1	61.76	256.0	261.501	0.150	3503.894	14.885
230.154											
tsrf_window	9600	1322.995 (15.6)	137.812	554.2	40.6	65.02	4.8	1227.310	0.042	20.403	0.184
649.613											
tsrf_building	9600	562.632 (6.6)	58.608	712.9	114.7	52.18	242.4	34.862	0.063	365.469	3.191
28.294											

図 4.32 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化前

```

*-----*
FTRACE ANALYSIS LIST
*-----*
PROC. NAME  FREQUENCY  EXCLUSIVE  AVER. TIME  MOPS  MFLOPS  V.OP  AVER.  VECTOR  I-CACHE  O-CACHE  BANK
CONFLICT
          TIME[sec]( %)  [msec]
          RATIO  V.LEN  TIME  MISS  MISS  CPU PORT
NETWORK
tsrf_cal_radref
192000  5128.771( 49.9)  26.712  4566.2  868.2  99.62  254.7  5124.523  0.322  1.904  338.840
4080.037
tsrf_window
96000  277.296( 2.7)  2.888  9243.5  2290.1  99.35  190.2  270.616  0.234  0.156  8.306
202.448
tsrf_building
96000  1460.799( 14.2)  15.217  4038.5  441.6  99.71  116.5  1449.187  0.312  4.122  104.116
1165.826

```

図 4.33 ルーチン単位のベクトル計算性能、最適化後

(9) 入出力データ

(a) 入出力ファイル一覧

本モデルは次に示す三つのモードで動作することができる。

- 1) 連成モード (街区空調負荷モデル+街区大気モデル)
- 2) 街区空調負荷モデル単独モード
- 3) 街区大気モデル単独モード

各モードの入出力ファイル一覧を表 4.13~15 にそれぞれ示す。

表 4.13 連成モードの入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	13
3	bnd	境界条件	入力	14
4	init	初期条件	入力	15
5	restart	リスタート・データ(流れ場)	出力	16
6	history	時系列データ	出力	17
7	domain	領域分割データ	入力	18
8	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	19
9	source	人工排熱	入力	20
10	Patch	面素データ	入力	27
11	PatchIndex	対策面素対応	入力	28
12	TreePatch	樹木面素	入力	29
13	ViewFactor	形態係数	入力	30
14	Sun	面素日射	入力	31
15	dummy	未使用	—	—
16	SurfProp	表面物性	入力	33
17	TreeData	2D樹木データ	入力	34
18	TreeMesh	3D樹木データ	入力	35
19	WaterTemp	水温データ	入力	36
20	MatEleProp	構成材パターン	入力	37
21	Building	建物データ	入力	38
22	Roomht	内部空調データ	入力	39
23	StHeat	建物自動車人工排熱	入力	40
24	PgidPrd	面素グループ	入力	41
25	out1	流れ場の結果	出力	24
26	srfhtflux	表面熱流束	出力	25
27	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	26
28	restart_st	リスタート・データ(表面温度)	入出力	42
29	PatchSurfTemp	面素別表面温度	出力	43
30	Radiation	面素別到達日射量	出力	44
31	heat	建物排熱+StHeat	出力	45
32	BldLoad	室内熱負荷	出力	46
33	Weather	気象条件	入力	47

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DUNSTDY -DCOUPLE

表 4.14 街区空調負荷モデル単独モードの入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	27
3	Weather	気象条件	入力	12
4	Patch	面素データ	入力	13
5	PatchIndex	対策面素対応	入力	14
6	TreePatch	樹木面素	入力	30
7	ViewFactor	形態係数	入力	15
8	Sun	面素日射	入力	16
9	dummy	未使用	—	17
10	SurfProp	表面物性	入力	35
11	TreeData	2 D樹木データ	入力	19
12	TreeMesh	3 D樹木データ	入力	31
13	WaterTemp	水温データ	入力	20
14	MatEleProp	構成材パターン	入力	26
15	Building	建物データ	入力	25
16	Roomht	内部空調データ	入力	29
17	StHeat	建物自動車人工排熱	入力	32
18	SurfTemp	格子別表面温度	出力	21
19	PatchSurfTemp	面素別表面温度	出力	22
20	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	23
21	Radiation	面素別到達日射量	出力	24
22	heat	建物排熱+StHeat	出力	33
23	PgidPrd	面素グループ	入力	28
24	restart_st	リスタート・データ(表面温度)	入出力	34
25	domain	領域分割データ	入力	18
26	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	36
27	BldLoad	室内熱負荷	出力	37

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DST

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC -DST -DSINGLE

上: 並列処理、下: 逐次処理(No.25 domainファイルなし)

表 4.15 街区大気モデル単独モード入出力ファイル一覧

No.	ファイル名	内 容	入出力	機番
1	control	制御ファイル	入力	11
2	grid	計算領域設定	入力	13
3	bnd	境界条件	入力	14
4	init	初期条件	入力	15
5	restart	リスタート・データ(流れ場)	出力	16
6	history	時系列データ	出力	17
7	domain	領域分割データ	入力	18
8	vfrac	FAVOR法形状データ	入力	19
9	source	人工排熱	入力	20
10	radflux	樹冠内直達日射フラックス	入力	21
11	SurfTemp	格子別表面温度	入力	22
12	TreeMesh	3 D樹木データ	入力	23
13	out1	流れ場の結果	出力	24
14	srftflux	表面熱流束	出力	25
15	ProgressLog	プログラム進捗ログ	出力	26

プリプロセッサのコンパイル・オプション: -fpp -DPC

(b) 入出力データ項目

街区空調負荷モデルが扱うデータファイルの相互参照関係を図 4.34 に示す。また、入力データファイルごとの入力データ項目とその内容を表 4.16 に一覧して示す。出力データファイルごとの出力データ項目とその内容を表 4.17 に一覧して示す。

データファイル関係図

※各データのファイルの内容は「データフォーマット」Sheetを参照

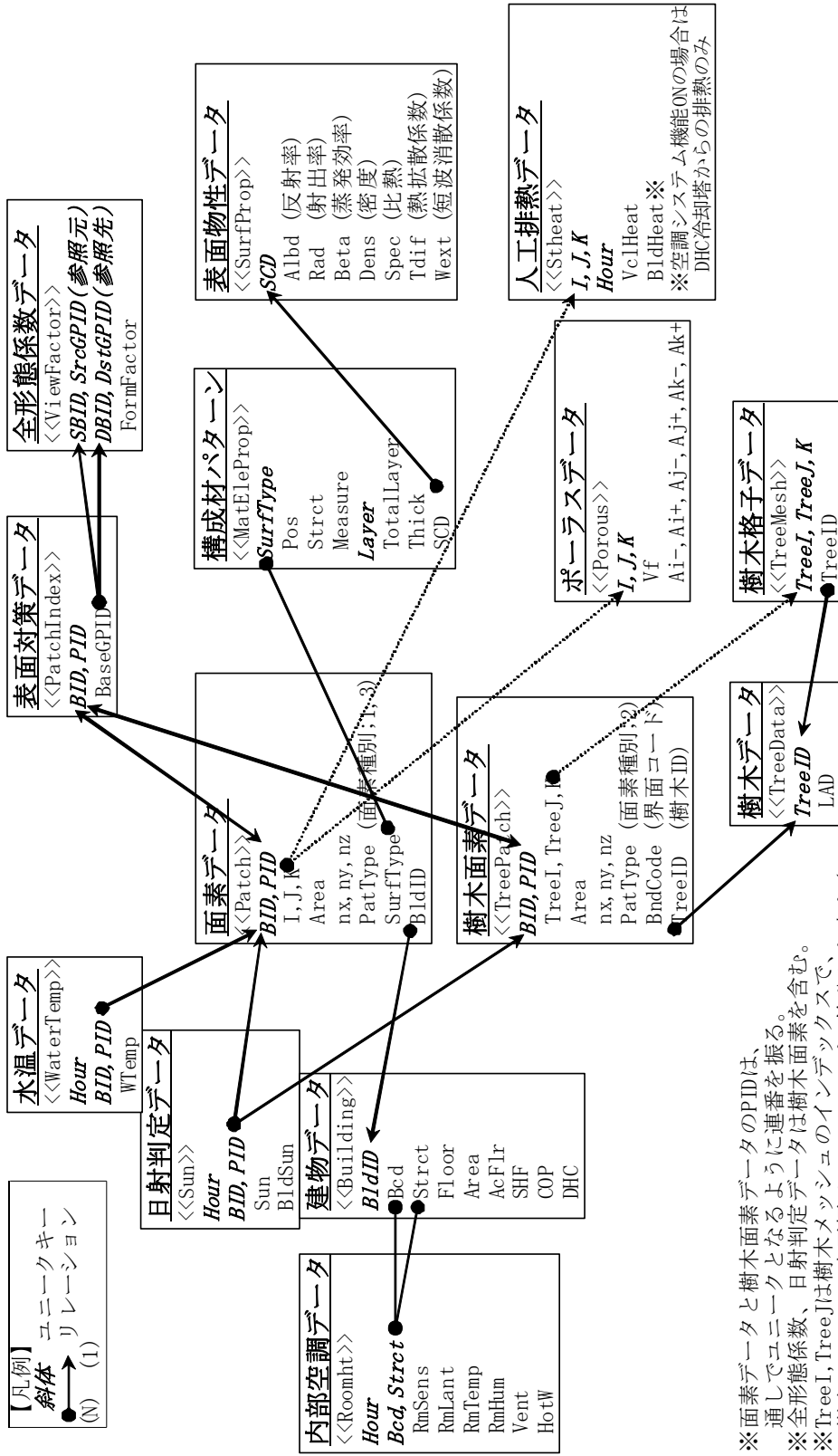


図 4.34 データファイル関係図

※要素データと樹木面素データのPIDは、通してユニークとなるように連番を振る。
 ※全形態係数、日射判定データは樹木面素を含む。
 ※TreeI, TreeJは樹木メッシュのインデックスで、樹木メッシュの水平幅はCFDメッシュをn等分した大きさ。

表 4.16(1) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(1/5)

ファイル名: Patch	列名「表示名」	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のID (BlockID)	4	整数
	2	PID	面素のユニークIDで、500m四方領域毎に1から割り振られた通し番号	8	整数
	3~5	{L, J, K}	CFD計算用三次元セルのL, J, K方向インデックス	4, 4, 3	整数
	6	Area	面素の面積	(m ²)	実数
	7~9	nx, ny, nz	面素の単位法線ベクトル(解析格子座標系基準)	7, 7, 7	実数
	10	PatType [PTyp]	面素の種類を表すコード(1=建物, 3=地表面, 4=水面, 7=領域外境界面素)	4	整数
	11	SurfType [STyp]	面素の構成材パターンを参照するコード	4	整数
	12	BlockID	建物データを参照するID, 地表面の場合は-1とする	8	整数

※法線ベクトル値は解析格子に沿った座標系を基準とする。地図の平面直角座標(真北をY軸正の向きに固定する座標)を基準とはしない。

Type	内容
1	建物
2	樹木
3	地表面
4	水面
7	領域外の境界

(*) MaterialProp. SurfType列
(**) Building. BlockID列

樹冠面素データ

ファイル名: TreePatch	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のID (BlockID)	4	整数
	2	PID	面素のユニークIDで、500m四方領域毎に1から割り振られた通し番号	8	整数
	3~5	{TreeI, TreeJ, K}	樹木メッシュの3次元セルI, J, K方向インデックス	4, 4, 3	整数
	6	Area	面素の面積	(m ²)	実数
	7~9	nx, ny, nz	面素の単位法線ベクトル	7, 7, 7	実数
	10	PatType [PTyp]	面素の種類を表すコード(2=樹木)	4	整数
	11	BlockCode [BCod]	樹木表面コード	4	整数
	12	TreeID	樹木データを参照するためのコード	8	整数

Type	内容
1	建物
2	樹木
3	地表面
4	水面
7	領域外の境界

表面対策データ

ファイル名: PatchIndex	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	4	整数
	2	SubPID	基底面素データ上にある対策面素データの面素ID	8	整数
	3	BaseGID	形態係数データが整備されている基底面素データの面素ID	8	整数

全形態係数データ

ファイル名: ViewFactor	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	SBD [SBD]	見る側(視点側)面素の500m四方領域のインデックス	4	整数
	2	SrcPID	見る側の面素PID	8	整数
	3	DBID	見られる側(参照先)面素の500m四方領域のインデックス	4	整数
	4	DstPID	参照先のPID	8	整数
	5	FormFactor	面素間の全形態係数	10	実数

※天空面素と地物の上位10面素については必ず出力する。基底面素のみ対象とする。

日射判定データ

ファイル名: Sun	列名	内容	単位	デキスト長	型
	No.				
	1	Hour [H]	時刻(時) <※>	(時)	2
	2	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	4	整数
	3	PID	面素, 樹冠面素データのPID	8	整数
	4	Sun[S]	日射の有無を示すフラグ, 日射あり=1, なし=0	1	整数
	5	BlockSun [B]	建物日陰のみを考慮した日射有無を示すフラグ, 日射あり=1, なし=0	1	整数

<※>日の出前、日没後の1時刻分を加えた日中の時刻について出力する。

表 4.16(2) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (2/5)

内部空調データ
ファイル名: Roomht

(*)24時刻出力する。

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [H]	時刻(1~24時) (*)	(時)	2	整数
2	BCD	建物用途コード	-	4	整数
3	Strct[Strt]	建物構造コード	-	4	整数
4,5	RmSens, Rmlant	建物内部で発生する単位のべ床面積あたりの顕熱/潜熱	(W/m ²)	12, 12	実数
6	RmTemp	建物内部の空調設定温度	(°C)	12	実数
7	RmHum	建物内部の空調設定相対湿度(0~100%)	(%)	12	実数
8	Vent	換気回数	(回/時)	12	実数
9	HotW	建物内部で発生する単位のべ床面積あたりの給湯負荷	(W/m ²)	12	実数
10	ACSEF	空調開始終了フラグ(1=開始時刻, 2=終了時刻, 0=それ以外)	-	4	整数
11	ACSEMin	空調開始終了時刻 (分)	(分)	4	整数
12	ACPrT	空調予熱運転時間 (分)	(分)	4	整数

建物データ

ファイル名: Building
(*)建物用途=8(対象外)のレコードも出力する

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	BldID	建物毎に割り振られた番号(※)	-	8	整数
2	BCD	建物用途コード<※>	-	4	整数
3	Strct[Strt]	建物構造コード	-	4	整数
4	Floor[Flor]	階数	(階)	4	整数
5	Area	建築面積	(m ²)	12	実数
6	AcFlr	空調床面積率(0.0~1.0) [BCD=8の場合は0.0]	-	12	実数
7	SHF	顕熱比(=顕熱/[顕熱+潜熱])	-	12	実数
8	COP	空調システム効率	-	12	実数
9	DHC	抑風冷暖房追加からの熱供給フラグ(0=熱供給なし, 1=あり)	-	4	整数

(※) 面素データの建物IDと対応しない建物データは出力しない。

構成材パターンデータ

ファイル名: MatEProp

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	SurfType[STp]	面素データから参照される構成材パターンコード(1~の連番)	-	4	整数
2	Pos	位置コード(1=屋上, 2=壁面, 3=窓面, 9=地表面)	-	4	整数
3	Strct[Strt]	構造コード(1=RC造, 2=木造, 9=地表面)	-	4	整数
4	Measure[Meas]	対策コード	-	8	整数
5	Layer[Layr]	構成材層の順序番号(外:1⇒内:10)	-	4	整数
6	TotalLayer[TLyT]	構成材層の総数(1~10)	-	4	整数
7	Thick	層厚さ	(m)	12	実数
8	SCD	表面物性データを参照するためのコード	-	4	整数

表面物性データ

ファイル名: SurfProp

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	SCD	表面の物性を表すコード	-	4	整数
2	Albd	反射率	-	10	実数
3	Rad	射出率	-	10	実数
4	Beta	蒸発効率	-	10	実数
5	Dens	密度(デフォルトは1.0e+3)	(kgm ⁻³)	10	実数
6	Spec	比熱(デフォルトは1.0e+3)	(Jkg ⁻¹ K ⁻¹)	10	実数
7	Tdif	熱拡散係数	(m ² s ⁻¹)	10	実数
8	Wext	窓の短波消散係数(デフォルトは1.0e+20)	(1/m)	10	実数

Bcd	内容
1	事務所
2	商業
3	ホテル
4	学校
5	戸建住宅
6	集合住宅
7	その他
8	対象外

構造コード	内容
1	RC造
2	木造
9	地表面

表 4.16 (3) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (3/5)

水温データ

ファイル名: WaterTemp (*24時刻分出力する。)

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [H]	時刻 (1~24時) (*)	(時)	2	整数
2	BID	500m四方領域のインデックス (BlockID)	—	4	整数
3	PID	四角形面素のユニークIDで、下一桁は種別 (=Type) を表す	—	8	整数
4	WTemp	水温 (水域の面素の場合)	(°C)	10	実数

樹木格子データ

ファイル名: TreeMesh

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	TreeI [Tr I], TreeJ [Tr J], K	樹木計算用3次元セルインデックス (水平I, J方向はCFDセルの1/nの大きさ)	—	8, 7, 7	整数
4	TreeID [Tr ID]	樹木IDを参照するコード, 樹木IDは一連なりの樹冠ごとに割り振られるID	—	7	整数

樹木データ

ファイル名: TreeData

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	TreeID [TID]	樹木ID	—	8	整数
2	LAD	葉面積密度	(m ² /m ³)	15	実数

気象データ

ファイル名: Weather

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1	Hour [Hr]	時刻 (1~24時)	—	4	整数
2	Temp	気温	(°C)	10	実数
3	Rhum	相対湿度 (0~100%)	(%)	10	実数
4	Press	現地気圧	(Pa)	10	実数
5	SunIrad	全天日射量	(MJ/m ²)	10	実数
6	Wind	風速	(m/s)	10	実数

人工排熱データ

ファイル名: SHeat

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	I, J, K	CFD計算用三次元セルのI, J, K方向インデックス	—	4, 4, 3	整数
4	Hour [Hr]	人工排熱の推計対象時刻 (1~24時)	(時)	2	整数
5, 6	Vcl {Sens, Lant}	自動車から排出される人工排熱 (顕熱と潜熱)	(W/m ³)	12	実数
7, 8	Bld {Sens, Lant}	建物から排出される人工排熱 (顕熱と潜熱) ※	(W/m ³)	12	実数

ポアラスデータ

ファイル名: Porous

No.	列名	内容	単位	デキスト長	型
1~3	I, J, K	CFD計算用三次元セルのI, J, K方向インデックス	—	4, 4, 3	整数
4	Vf	セル内の固体を除いた流体の占める体積の割合	—	6	実数
5~10	A {i-, i+, j-, j+, k-, k+}	セル界面 (6面) で固体を除いた流体が通過できる面積の割合	—	6	実数

表 4.16(4) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目(4/5)

計算格子ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数(分割数)
x	R*8	計算格子の x 座標[m]
my	I*4	J 方向の計算セル数(分割数)
y	R*8	計算格子の y 座標[m]
mz	I*4	K 方向の計算セル数(分割数)
z	R*8	計算格子の z 座標[m]

境界条件ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
iminbc	I*4	計算格子 i=0 面の対称・周期境界面フラグ
imaxbc	I*4	計算格子 i=mx 面の対称・周期境界面フラグ
jminbc	I*4	計算格子 j=0 面の対称・周期境界面フラグ
jmaxbc	I*4	計算格子 j=my 面の対称・周期境界面フラグ
kminbc	I*4	計算格子 k=0 面の対称・周期境界面フラグ
kmaxbc	I*4	計算格子 k=mz 面の対称・周期境界面フラグ
nsx	I*4	化学種の数
nbnd	I*4	境界条件の数
is,ie	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(I 方向)
js,je	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(J 方向)
ks,ke	I*4	境界条件を設定する領域の範囲(K 方向)
ldir	I*4	板境界のとき、境界条件を設定する面の向き =-1: 負側、=0: 両側、=1: 正側
ip	I*4	圧力の境界条件フラグ
iv	I*4	流速の境界条件フラグ
it	I*4	温度の境界条件フラグ
iy	I*4	化学種質量分率の境界条件フラグ
ike	I*4	化学種質量分率の境界条件フラグ
u,v,w	R*8	流速の固定値[m/s] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
t	R*8	温度の固定値[K] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
h	R*8	it=3 のとき、熱伝達係数[W/(m ² ・s)] ip=3 のとき、圧力[Pa]
ys	R*8	化学種質量分率の固定値[-] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)
ak,ae	R*8	k, ε の固定値[m ² /s ² ,m ² /s ³] (Dirichlet 条件が指定されたときのみ有効)

表 4.16(5) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの入力データ項目 (5/5)

領域分割ファイル

変数名	型	内 容
nporc	I*4	プロセッサ数
rank	I*4	プロセッサ・ランク
is,ie	I*4	ランク rank が処理する領域の I 方向 計算セルインデックスの始点および終点
js,je	I*4	ランク rank が処理する領域の J 方向 計算セルインデックスの始点および終点
ks,ke	I*4	ランク rank が処理する領域の K 方向 計算セルインデックスの始点および終点

FAVOR 法用ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数 (分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数 (分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数 (分割数)
gmc	R*4	計算セルの流体体積占有率
gmx	R*4	計算セル界面 (I 方向) の面開口率 i=0 から始まることに留意
gmy	R*4	計算セル界面 (J 方向) の面開口率 j=0 から始まることに留意
gmz	R*4	計算セル界面 (K 方向) の面開口率 k=0 から始まることに留意
adrg	R*4	ドラッグ項 $F_i = aC_r u_i \sqrt{u_k^2}$ の係数 a [m^2/m^3]
tdrg	R*4	セル内部の固体表面からの熱ソース l=1: 温度 [K] l=2: 熱伝達係数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] \times 表面積 [m^2] l=3: 蒸発効率 \times 物質伝達係数 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] \times 表面積 [m^2]
cdrg	R*4	ドラッグ項 $F_i = aC_r u_i \sqrt{u_k^2}$ の係数 C_r
swlr	R*4	各計算セルにおける建物、地面の表面積 l=1: 建物側壁の表面積 [m^2] l=2: 地面の表面積 [m^2] l=3: 建物屋上の表面積 [m^2]

人工排熱ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数 (分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数 (分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数 (分割数)
hwst	R*4	l=1: 人工排熱(顕熱) [W/m^3] l=2: 人工排熱(潜熱) [W/m^3]

表 4.17(1) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目(1/2)

建物排熱

ファイル名:BldLoad ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名[表示名]	内容	単位	テキスト長	型
1	Hr	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	BldID	建物ID	-	8	整数
3	trans.	建物のべ床面積当たりの貫流熱	(W/m ²)	12	実数
4	insol.	建物のべ床面積当たりの日射熱	(W/m ²)	12	実数
5	source	建物のべ床面積当たりの内部発生熱	(W/m ²)	12	実数
6	vent.(sens.)	建物のべ床面積当たりの換気(顕熱)	(W/m ²)	12	実数
7	vent.(lat.)	建物のべ床面積当たりの換気(潜熱)	(W/m ²)	12	実数
8	total	建物のべ床面積当たりの空調エネルギー	(W/m ²)	12	実数
9	rel.(sens.)	建物のべ床面積当たりの建物排熱(顕熱)	(W/m ²)	12	実数
10	rel.(lat.)	建物のべ床面積当たりの建物排熱(潜熱)	(W/m ²)	12	実数

メッシュ別表面温度

ファイル名:SurfTemp

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
2	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
3	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
4	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
5	tdrg(1)	格子セル内の総表面積×熱伝達係数	(W/K)	12	実数
6	tdrg(2)	格子セル内の総表面積×表面温度×熱伝達係数	(W)	12	実数
7	tdrg(3)	格子セル内の総表面積×蒸発効率×熱伝達係数	(W/K)	12	実数
8	swlr(1)	格子セル内の側壁の総面積	(m ²)	12	実数
9	swlr(2)	格子セル内の地面の総面積	(m ²)	12	実数
10	swlr(3)	格子セル内の屋上の総面積	(m ²)	12	実数

要素別表面温度

ファイル名:PatchSurfTemp ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	PID	要素ID	-	8	整数
2	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
3	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
4	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
5	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
6	Temp	表面温度	(°C)	12	実数
7	Rad_L	長波放射	(W/m ²)	12	実数
8	Rad_S	短波放射	(W/m ²)	12	実数
9	Sens	顕熱輸送量	(W/m ²)	12	実数
10	Lant	潜熱輸送量	(W/m ²)	12	実数
11	Area	面積	(m ²)	12	実数

法線直達日射データ

ファイル名:Radiation ※PCソフト(HAO)使用ファイル

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	Hr	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	normal-direct-solar-rad.	法線直達日射	(W/m ²)	12	実数
3	scattered-solar-rad	散乱日射	(W/m ²)	12	実数
4	atmos.=long-rad	大気放射	(W/m ²)	12	実数

人工排熱

ファイル名:heat

No.	列名	内容	単位	テキスト長	型
1	hour	時刻(1~24時)	-	2	整数
2	i	CFD格子インデックスI	-	4	整数
3	j	CFD格子インデックスJ	-	4	整数
4	k	CFD格子インデックスK	-	4	整数
5	VclSens	格子セル内の自動車排熱(顕熱)	(W/m ²)	12	実数
6	VclLant	格子セル内の自動車排熱(潜熱)	(W/m ²)	12	実数
7	BldSens	格子セル内の建物排熱(顕熱)	(W/m ²)	12	実数
8	BldLant	格子セル内の建物排熱(潜熱)	(W/m ²)	12	実数

表 4.17(2) 街区空調負荷モデル・街区大気モデルの出力データ項目 (2/2)

計算結果ファイル

No.	列名	型	内 容 [単位]
1	i	整数	CFD 格子インデックス I
2	j	整数	CFD 格子インデックス J
3	k	整数	CFD 格子インデックス K
4	T	実数	気温[m]
5	u	実数	風速 x 成分[m/s]
6	v	実数	風速 y 成分[m/s]
7	w	実数	風速 z 成分[m/s]
8	q	実数	比湿[kg/kg]
9	k	実数	乱流エネルギー[m ² /s ²]

リスタート・ファイル

変数名	型	内 容 [単位]
mx	I*4	I 方向の計算セル数(分割数)
my	I*4	J 方向の計算セル数(分割数)
mz	I*4	K 方向の計算セル数(分割数)
ns	I*4	化学種の数
lke	I*4	>0 : k, ε を出力する =0 : k, ε を出力しない
iter	I*4	時間ステップ数
time	R*8	時間[sec]
pp	R*8	熱力学的な圧力[Pa]
p	R*8	運動学的な圧力[Pa]
t	R*8	温度[K]
ys	R*8	化学種の質量分率[-]
ru	R*8	運動量 x 成分[kg/m ² /s]
rv	R*8	運動量 y 成分[kg/m ² /s]
rw	R*8	運動量 z 成分[kg/m ² /s]
ak(:, :, 1)	R*8	乱流エネルギー k [m ² /s ²]
ak(:, :, 2)	R*8	乱流エネルギーの散逸率 ε [m ² /s ³]

4.3.3 都市 CO₂ 計量評価モデル

本プロジェクトにおいては、近未来の水素利用型都市を含む都市におけるエネルギー評価が可能なプログラムの開発を行った。都市においては様々な用途・規模・エネルギーシステムで構成されているが、どの方式にも対応可能な都市エネルギーシステム評価プログラムとした。都市に用いるエネルギー源としては、従来の化石燃料（都市ガス、石油等）を含め、水素利用型都市に必要となる再生可能エネルギー、バイオマス利用システム、コージェネレーションシステム、エネルギー貯蔵システム（蓄水素・蓄熱・蓄電）等の評価が可能とし、幅広いニーズに対応できるプログラム開発を行った。また、プログラムは、省エネ・省 CO₂ はもちろん、経済性の評価も可能とし、将来の様々な都市において最適なエネルギーシステムの検討・評価が可能な開発仕様とした。以下にモデルの概要を示す。

(1) プログラムの分類と全体構成の検討

都市エネルギーシステムの検討ケースとシステム計画・評価プロセスを踏まえて、計算目的に沿って各プログラムの連携を図る全体構成について図 4.35 に示す。

プログラム全体構成の特徴は、①モデル都市の規模等の条件により集中方式と分散方式並びに集中・分散併用方式の適用が考えられ、どの方式にも対応できること、②従来の化石燃料（都市ガス、石油）以外に、様々な水素活用方式に対応できること、③再生可能エネルギーやバイオマスエネルギーの活用や、蓄電や蓄熱などの蓄エネルギーと組み合わせた最適エネルギー制御などのスマートエネルギーシステムに対応できること、④現状のシステム機器構成のほか、短期から中長期まで将来の機器構成・都市システムに対応できること、⑤集合住宅では個別に燃料電池を置く場合や、複数戸で燃料電池を共有する場合まで対応できること、を考慮して構成している。

プログラムの主な特徴は以下に示すとおりである。図 4.35 中の二重線で囲んだ部分が個々の計算プログラムを示しており、以降順番に説明する。

<プログラムの主な特徴>

- ・システムは集中方式、分散方式並びに集中・分散併用方式いずれにも対応
- ・従来の化石燃料（都市ガス、石油）以外に、様々な水素活用方式に対応
- ・再生可能エネルギーやバイオマス導入、熱源と蓄電やエネルギー貯蔵システム等を組み合わせて最適エネルギー制御を行うスマートエネルギーシステムに対応
- ・現状のほか、短期から中長期まで将来の機器構成・都市システムに対応
- ・集合住宅における複数戸で燃料電池を共有する場合等まで対応

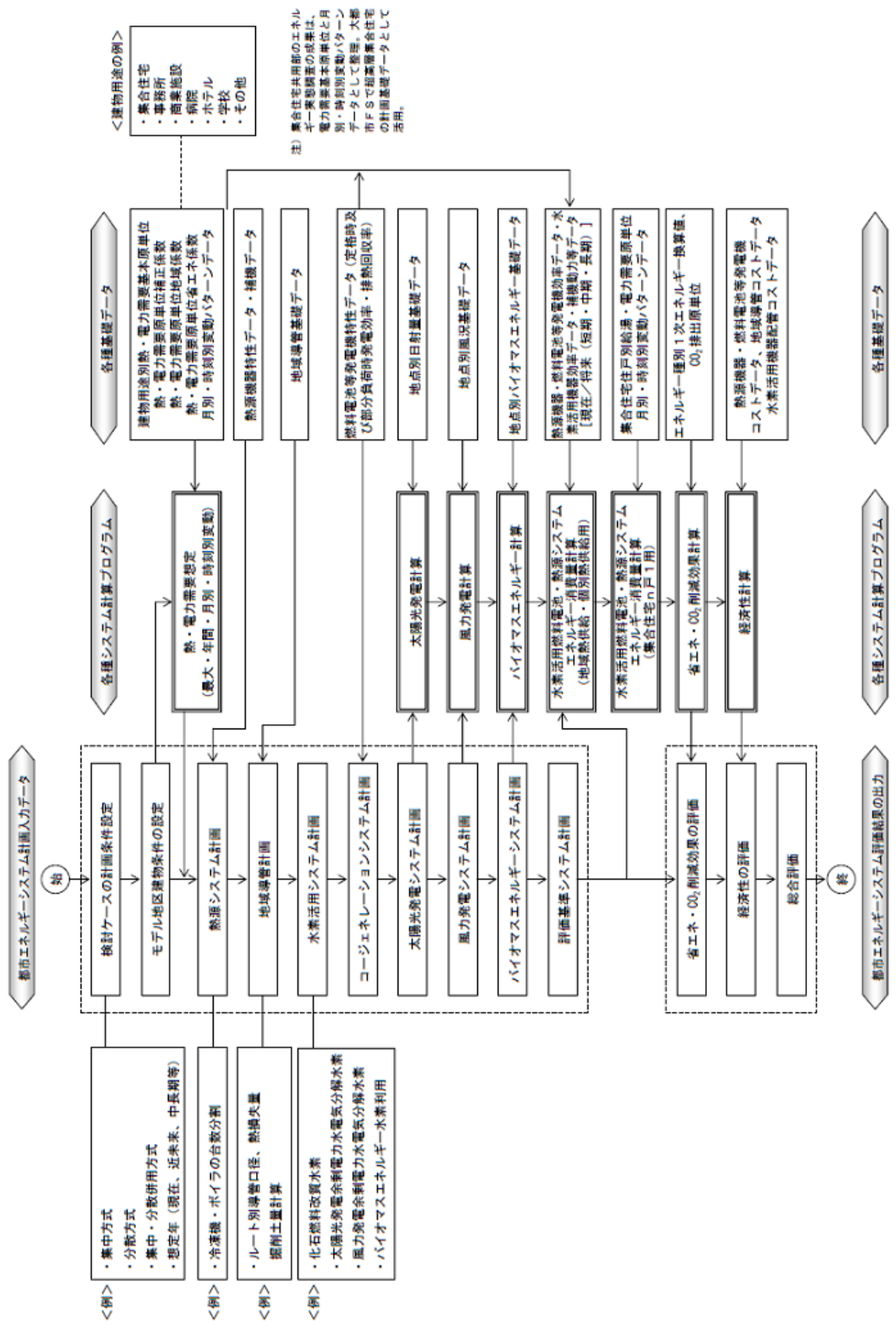


図 4.35 都市エネルギーシステムの計画・評価と各種計算プログラムの全体構成フロー

(2) 熱・電力需要想定計算プログラム

(a) 最大エネルギー需要量の想定

1) 入力項目

最大エネルギー需要量の想定に必要な入力データは、表 4.18 および表 4.19 に示す入力項目により設定する。建物用途はデフォルトデータとしては 4.2.1 にて調査を実施した IBEC データの業務施設、商業施設、宿泊施設、医療施設および 23 種類の一般家庭の合計 27 種類を有しているが、ユーザーが任意に設定することも可能である。

表 4.18 建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO. と最大基本需要原単位の入力項目

建物入力数 (例)		10	最大基本需要原単位							
建物番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	原単位リスト	最大基本需要原単位				
						電力 (W/㎡)	冷房 (kJ/㎡・h)	暖房 (kJ/㎡・h)	給湯 (kJ/㎡・h)	蒸気 (kJ/㎡・h)
B01		1	業務							
B02		2	商業							
B03		3	宿泊							
B04		4	医療							
B05		5	集合住宅							
B06		6	学校							
B07		7	用途 A							
B08		8	用途 B							
B09		9	用途 C							
B10		10	用途 D							

表 4.19 最大需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式

建物入力数 (例)		10	最大需要原単位補正係数					同地域補正係数					同省エネ係数				
建物番号	建物名称	用途 NO.	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気
			B01		1												
B02		2															
B03		3															
B04		4															
B05		5															
B06		6															
B07		7															
B08		8															
B09		9															
B10		10															

2) 出力項目

最大エネルギー需要量の計算結果は、建物別と用途別に集計し、表 4.20 および表 4.21 に示す出力項目によりまとめる。

表 4.20 最大エネルギー需要量の計算結果 [建物別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (kW)	冷房 (MJ/h)	暖房 (MJ/h)	給湯 (MJ/h)	蒸気 (MJ/h)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

表 4.21 最大エネルギー需要量の計算結果 [用途別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (kW)	冷房 (MJ/h)	暖房 (MJ/h)	給湯 (MJ/h)	蒸気 (MJ/h)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

3) 計算ロジックの整理

最大需要量を計算する式を電力、冷房、暖房、給湯、蒸気に分けて、以下に整理する。

○ 最大需要電力(kW)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大電力基本需要原単位(W/m}^2\text{)} \times 10^{-3} \quad (4.102)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

○ 最大冷房需要(MJ/h)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大冷房基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} \quad (4.103)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

○ 最大暖房需要(MJ/h)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大暖房基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} \quad (4.104)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

○ 最大給湯需要(MJ/h)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大給湯基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} \quad (4.105)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

○ 最大給湯需要(MJ/h)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大給湯基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} \quad (4.106)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

○ 最大蒸気需要(MJ/h)=用途別延床面積(m²)

$$\times \text{最大蒸気基本需要原単位(kJ/m}^2\text{·h)} \times 10^{-3} \quad (4.107)$$

$$\times \text{最大需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数}$$

(b) 年間エネルギー需要量の想定

1) 入力項目の設定

年間エネルギー需要量の想定に必要な入力データは、表 4.22 と表 4.23 に示す入力書式により設定する。

表 4.22 建物名称・用途 NO.・原単位リスト NO. と年間基本需要原単位の入力書式

建物入力数 (例)		10	年間基本需要原単位							
建物 番号	建物名称	用途 NO.	用途	延床面積 (㎡)	原単位 リスト	年間基本需要原単位				
						電力 (kWh/㎡・年)	冷房 (MJ/㎡・年)	暖房 (MJ/㎡・年)	給湯 (MJ/㎡・年)	蒸気 (MJ/㎡・年)
B01		1	業務							
B02		2	商業							
B03		3	宿泊							
B04		4	医療							
B05		5	集合住宅							
B06		6	学校							
B07		7	用途 A							
B08		8	用途 B							
B09		9	用途 C							
B10		10	用途 D							

表 4.23 年間需要原単位の補正係数・地域補正係数・省エネ係数の入力書式

建物入力数 (例)		10	年間需要原単位補正係数					同地域補正係数					同省エネ係数				
建物 番号	建物名称	用途 NO.	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気	電力	冷房	暖房	給湯	蒸気
			B01		1												
B02		2															
B03		3															
B04		4															
B05		5															
B06		6															
B07		7															
B08		8															
B09		9															
B10		10															

2) 出力項目の設定

年間エネルギー需要量の計算結果は、建物別と用途別に集計し、表 4.24 と表 4.25 に示す出力書式によりまとめる。

表 4.24 年間エネルギー需要量の計算結果 [建物別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (MWh/年)	冷房 (GJ/年)	暖房 (GJ/年)	給湯 (GJ/年)	蒸気 (GJ/年)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

表 4.25 年間エネルギー需要量の計算結果 [用途別]

建物入力数 (例)		10							
建物番号	建物名称	用途NO.	用途	延床面積 (㎡)	電力 (MWh/年)	冷房 (GJ/年)	暖房 (GJ/年)	給湯 (GJ/年)	蒸気 (GJ/年)
B01		1	業務						
B02		2	商業						
B03		3	宿泊						
B04		4	医療						
B05		5	集合住宅						
B06		6	学校						
B07		7	用途A						
B08		8	用途B						
B09		9	用途C						
B10		10	用途D						
計	—	—	—						

3) 年間需要量の計算ロジックの整理

年間需要量を計算する式を電力、冷房、暖房、給湯、蒸気に分けて、以下に整理する。

- 年間電力需要量(MW)=用途別延床面積(m²)
$$\begin{aligned} & \times \text{年間電力基本需要原単位(kW/m}^2\cdot\text{年)} \times 10^{-3} & (4.108) \\ & \times \text{年間需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$
- 年間冷房需要量(GJ/年)=用途別延床面積(m²)
$$\begin{aligned} & \times \text{年間冷房基本需要原単位(MJ/m}^2\cdot\text{年)} \times 10^{-3} & (4.109) \\ & \times \text{年間需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$
- 年間暖房需要量(GJ/年)=用途別延床面積(m²)
$$\begin{aligned} & \times \text{年間暖房基本需要原単位(MJ/m}^2\cdot\text{年)} \times 10^{-3} & (4.110) \\ & \times \text{年間需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$
- 年間給湯需要量(GJ/年)=用途別延床面積(m²)
$$\begin{aligned} & \times \text{年間給湯基本需要原単位(MJ/m}^2\cdot\text{年)} \times 10^{-3} & (4.111) \\ & \times \text{年間需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$
- 年間蒸気需要量(GJ/年)=用途別延床面積(m²)
$$\begin{aligned} & \times \text{年間蒸気基本需要原単位(MJ/m}^2\cdot\text{年)} \times 10^{-3} & (4.112) \\ & \times \text{年間需要原単位補正係数} \times \text{同地域係数} \times \text{同省エネ係数} \end{aligned}$$

4) 時刻別需要量の計算ロジックの整理

以下の計算は建物用途別に行って、最後に用途別合計値を求める

$$\begin{aligned} \circ \text{ 月別冷房需要量} &= \text{年間冷房需要量} \\ &\times (\text{冷房月別需要変動比} \div \text{冷房月別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.113)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 時刻別冷房需要量} &= \text{月別冷房需要量} \div \text{月別稼動日数(平日+休日)} \\ &\times (\text{冷房時刻別需要変動比} \div \text{冷房時刻別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.114)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 月別暖房需要量} &= \text{年間暖房需要量} \\ &\times (\text{暖房月別需要変動比} \div \text{暖房月別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.115)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 時刻別暖房需要量} &= \text{月別暖房需要量} \div \text{月別稼動日数(平日+休日)} \\ &\times (\text{暖房時刻別需要変動比} \div \text{暖房時刻別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.116)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 月別給湯需要量} &= \text{年間給湯需要量} \\ &\times (\text{給湯月別需要変動比} \div \text{給湯月別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.117)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 時刻別給湯需要量} &= \text{月別給湯需要量} \div \text{月別稼動日数(平日+休日)} \\ &\times (\text{給湯時刻別需要変動比} \div \text{給湯時刻別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.118)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 月別蒸気需要量} &= \text{年間蒸気需要量} \\ &\times (\text{蒸気月別需要変動比} \div \text{蒸気月別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.119)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 時刻別蒸気需要量} &= \text{月別蒸気需要量} \div \text{月別稼動日数(平日+休日)} \\ &\times (\text{蒸気時刻別需要変動比} \div \text{蒸気時刻別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.120)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 月別建物全体電力需要量} &= \text{年間建物全体電力需要量} \\ &\times (\text{建物全体電力月別需要変動比} \div \text{建物全体電力月別需要} \\ &\quad \text{変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.121)$$

$$\begin{aligned} \circ \text{ 時刻別建物全体電力需要量} &= \text{月別建物全体電力需要量} \\ &\div \text{月別稼動日数(平日+休日)} \\ &\times (\text{建物全体電力時刻別需要変動比} \\ &\quad \div \text{建物全体電力時刻別需要変動比合計値}) \end{aligned} \quad (4.122)$$

注) コージェネ電力需要量は建物用途別に「年間電力需要量×コージェネ電力割合」を算定して、上記の建物全体電力需要量の算定と同様に月別・時刻別の計算を行う。

(3) 太陽光発電計算

(a) 太陽光発電の発電量算定方法

シミュレーションにおける、太陽光発電設備の発電量の算定にあたっては、図 4.36 に示す手順で日射量の推計及び発電量の算定を行う。

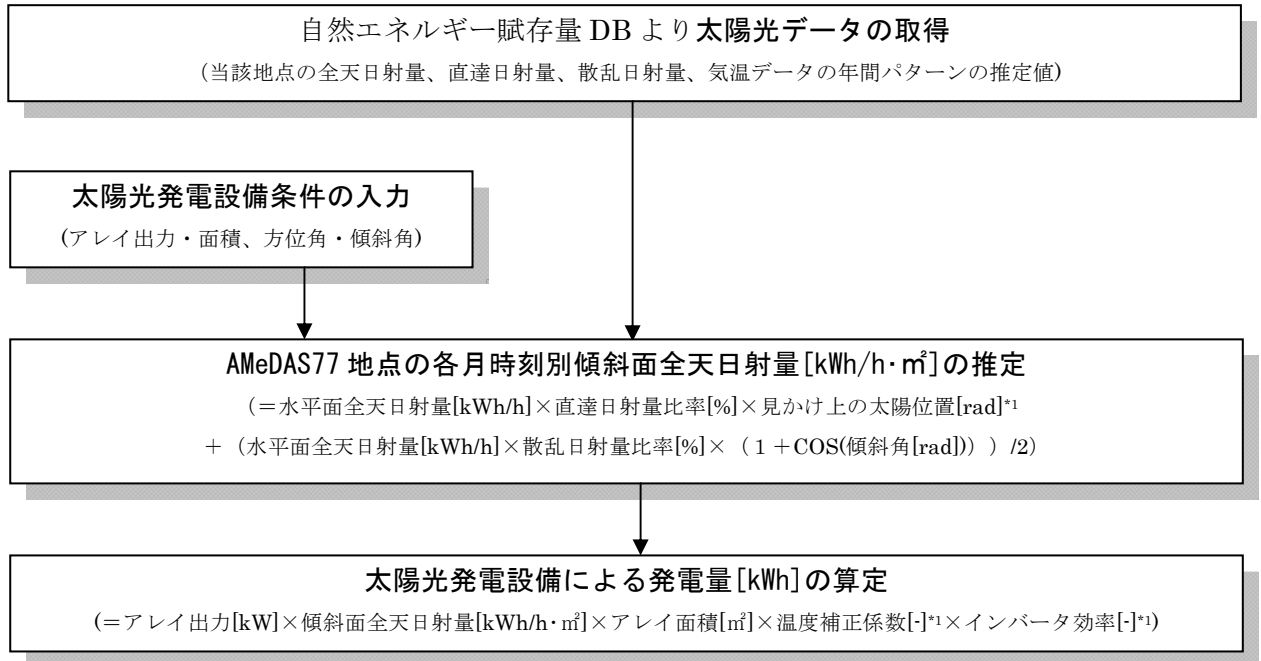


図 4.36 太陽光発電設備による発電量算定方法

*1: 「見かけ上の太陽高度」「温度補正係数」「インバータ効率」については後述する。

(b) 太陽光発電の標準基礎データ

4.2.3 で開発した自然エネルギー賦存量データベースを用い入手した太陽光発電活用データを用いて基礎データとなる水平面全天日射量、水平面直達日射量、水平面散乱日射量、気温データを取得する。

表 4.26～表 4.29 に太陽光発電活用データの基礎となる各太陽光成分の時刻別変動パターン例を示す。ここで示す例は1月のデータであるが、同データベースより1年間のデータが入手可能となる。

表 4.26 水平面全天日射量に関する時刻別変動パターン例（1月）

水平面全天日射量(メッシュ)					MJ/m2																										
MeshID	道府県	緯度	経度	要素番号	月	日	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時	
53363787	21	35.65	136.9625	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 4.27 水平面直達日射量に関する時刻別変動例（1月）

水平面直達日射量(メッシュ)					MJ/m2																									
MeshID	道府県	緯度	経度	要素番号	月	日	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時					
53363787	21	35.65	136.9625	2	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(a) 太陽光発電の発電量算定

太陽光発電のパネル面における日射量は、太陽光発電設備の設置方位角・傾斜角を用いて、パネル面から見たときの太陽位置（見かけ上の太陽位置）を定義する必要がある。

代表地点における太陽高度・方位角及び直達・散乱日射比率を用いて以下の通り算定する。

$$S_d = \sin(H_s) \times \cos(H_p) + \sqrt{(1 - \sin(H_s))^2} \times \sin(H_p) \times \cos\left(\arctan\left(\frac{\sin(D_s)}{\cos(D_s)}\right) - D_p\right) \quad (4.123)$$

ここで、

S_d : 見かけ上の太陽位置[rad]

H_s : 太陽高度[rad]

D_s : 太陽方位角[rad]

H_p : パネル面傾斜角[rad]

D_p : パネル面方位角[rad]

※ただし、太陽高度 H_s が正のときのみ算定し、負のときは見かけ上の太陽位置は0とする。

パネル面の日射量の算定結果を用いて、太陽光発電設備による発電量を算定する。発電量の算定に当たっては、外気温補正とインバータ効率補正を以下の通り行い算定する。

【外気温補正係数】

$$K_{pt} = 1 + \alpha P_{\max} \times (T_{cm} - T_s) \quad (4.124)$$

$$T_{cm} = T_a + 15 \quad (4.125)$$

ここで、

K_{pt} : 温度補正係数

αP_{\max} : アレイ種別温度補正定数[%/°C] (表4.31)

T_{cm} : 月平均セル温度[°C]

T_a : 月平均外気温[°C]

T_s : 標準状態セル温度[°C] → 25[°C] ※定数

表 4.31 アレイ種別温度補正定数

αP_{max}	単結晶	-0.0037
%/ $^{\circ}C$	多結晶	-0.0044
	アモルファス	-0.0020

【インバータ効率】

$L_p < 16$ のとき

$$C_i = (5.6875 \times L_p) / 100 \quad (4.126)$$

$L_p \geq 16$ のとき

$$C_i = \left(-2.02E-10 \times L_p^6 + 8.20E-8 \times L_p^5 - 1.36E-5 \times L_p^4 + 1.17E-3 \times L_p^3 - 0.06 \times L_p^2 + 1.50 \times L_p + 77.54 \right) / 100 \quad (4.127)$$

ここで、

L_p : 負荷率 [%] → 温度補正後の発電量 [kWh] / インバータ容量 [kVA]

(インバータ容量 [kVA] = アレイ出力容量 [kW] × 最大インバータ効率 [93%])

C_i : インバータ効率 [%]

ここまでの計算を受けて、太陽光発電設備による発電量 [kWh] は以下の通り算定する。

$$\begin{aligned} \circ \text{ 発電量 [kWh]} &= \text{アレイ出力 [kW]} \times \text{傾斜面全天日射量 [kWh/h} \cdot \text{m}^2] \\ &\quad \times \text{アレイ面積 [m}^2] \times \text{温度補正係数 [-]} \times \text{インバータ効率 [-]} \end{aligned} \quad (4.128)$$

(b) 外気温条件

アレイ種別ごとに外気温による発電量補正係数の算定に用いる外気温条件は、自然エネルギー賦存量データベースを活用し、当該地域の年間温度パターンを入手し、活用する。

(5) 風力発電計算

(a) 風力発電の発電量算定方法

シミュレーションにおける、風力発電設備の発電量算定にあたっては、図 4.37 に示す手順で風況の推計及び発電量の推計を行う。

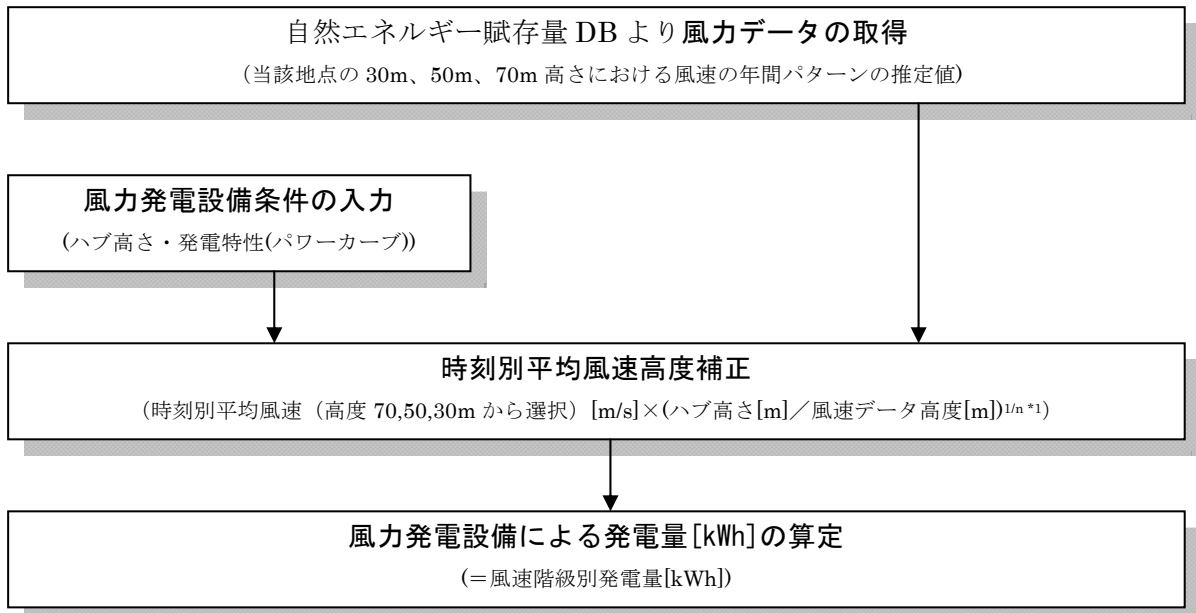


図 4.37 風力発電設備による発電量推計方法

*1:風速の高度補正については後述する。

(c) 風力発電の設備入力条件

風力発電設備の発電量算定を行うにあたり、設備条件として入力する項目は以下の2項目とする。

- ハブ高さ[m]
- 発電特性(パワーカーブ)

参考までに、以下に風力発電設備の発電特性に関するデータを表 4.33 に示す。入力する発電特性(パワーカーブ)は、風速階級毎の風車の発電量を示す出力比データである。

表 4.33 発電特性(パワーカーブ)例

	例 1	例 2	例 3	例 4	例 5
メーカー名	E 社	M 社	G 社	V 社	V 社
定格出力	500kW	1,000kW	1,500kW	2,000kW	3,000kW
ハブ高	44.0m	61.4m	64.7m	67.0m	80.0m
カットイン風速	2.5m/s	2.5m/s	3.5m/s	4.0m/s	4.0m/s
カットアウト風速	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s	25.0m/s
風速階級[m/s]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]	出力比[%]
2	0	0	0	0	0
3	0.6	0.7	0	0	0
4	2.8	3.9	2.9	3.3	2.6
5	7.0	9.1	8.7	7.6	6.3
6	12.8	16.0	16.7	14.0	11.8
7	21.4	26.1	27.7	22.9	19.4
8	31.6	39.9	42.7	34.5	29.5
9	46.8	56.5	61.6	48.9	42.4
10	64.8	74.1	78.7	64.8	57.0
11	80.8	88.8	90.6	79.9	71.5
12	92.6	97.6	95.7	90.9	84.8
13	98.2	100	98.7	96.8	94.6
14	100	100	99.6	99.0	98.8
15	100	100	100	99.8	99.8
16	100	100	100	99.9	100
17	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100
21	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100
23	100	100	100	100	100
24	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100

注) 風速階級別の出力比は定格出力を 100%とした発電出力の比率(%)で示す。

(d) 風力発電の発電量算定

風力発電設備の発電量を予測するにあたって、算定された時刻別平均風速を、風車のハブ高さにおける風速に補正する必要がある。風速の高度分布については、経験則として「指数則（べき法則）」が成り立つことが知られており、以下の式が用いられる。

$$V = V_1 \left(\frac{Z}{Z_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.129)$$

- ここで、 V : 予測するハブ高の風速[m/s]
 V_1 : 選択した 70, 50, 30m 高、いずれかの時刻別平均風速[m/s]
 Z : 予測するハブ高の高度[m]
 Z_1 : 選択した 70, 50, 30m 高、いずれかの高度[m]
 $1/n$: 指数則のべき指数（分母を n 値と呼ぶ）

「指数則」から上空の風速を推定する場合、べき指数($1/n$)の値は地表の粗度状態により変わり、平坦な海岸地域等では $n = 7$ 、内陸では $n = 5$ 程度が用いられる。

ここまでの計算を受けて、風力発電設備による発電量[kWh]は以下の通り算定する。

○ 発電量[kWh] = 風速階級別発電量[kWh] (4.130)
(時刻別高度補正平均風速[m/s]を元として)

(6) 水素活用燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算プログラム

(地域熱供給・個別熱供給用)

(a) 本プログラムのメインフローとサブルーチンの構成

1) 本プログラムのメインフローと特徴

① 本プログラムのメインフロー

本プログラムのメインフローを図 4.38 に示す。入力サブルーチンは「**1** コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力」と「**2** 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力」の2つを設定する。また、計算サブルーチンは「(1) 熱源プラント負荷の算定」から「(18) 熱源プラント上水使用量・下水排出量の算定」に至る 18 種類により構成している。出力サブルーチンは「計算結果の出力」を設定する。

② 本プログラムの特徴

本プログラムでは、地域熱供給システムや個別建物での熱供給システムのエネルギー消費量計算を行うことができ、また、蓄熱システムや蓄電システム、蓄水素システム、逆潮システムを選択も行うことができる。コージェネレーションシステムについては、燃料電池だけでなく従来のガスエンジン発電機を使用したシステムにも対応することができる。

2) 入出力サブルーチンの構成と主な内容

入力サブルーチンは、「**1** コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力」と「**2** 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力」の2つに分けて設定する。また、出力サブルーチンは、「**3** 計算結果の出力」を設定する。

表 4.34 に入出力サブルーチンの構成と主な内容をまとめる。

表 4.34 入出力サブルーチンの構成と主な内容

サブルーチン名	主な内容
<p>1 コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 「プラント一般計画データ」では、熱源システムの計画条件を入力するもので、供給熱媒条件、地域導管熱損失率、プラント面積、補機電力計画条件などを設定する。 ● 「熱源機器計画データ」では、各種冷凍機による冷熱源機器の台数、容量、COPや運転順位条件を入力する。蓄熱槽では月別に使用する槽容量や蓄熱効率などの条件を入力する。温水熱源機器・蒸気ボイラでは、温水熱交換器や電動ヒートポンプ・温水ボイラ・蒸気ボイラなどの容量や運転順位条件を入力する。 ● 「発電機計画データ」では、発電機の種類・燃料や発電効率・排熱回収率など発電機特性データと月別時刻別の発電機出力と運転スケジュール条件を入力する。
<p>2 月別・時刻別熱・電力需要量データの入力</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 「熱・電力需要想定計算プログラム」で求めた月別・時刻別熱・電力需要量のデータを入力する。
<p>3 計算結果の出力</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 月別・時刻別にエネルギー消費量の計算を行ったすべての結果を月別・時刻別並びに年間値として出力する。

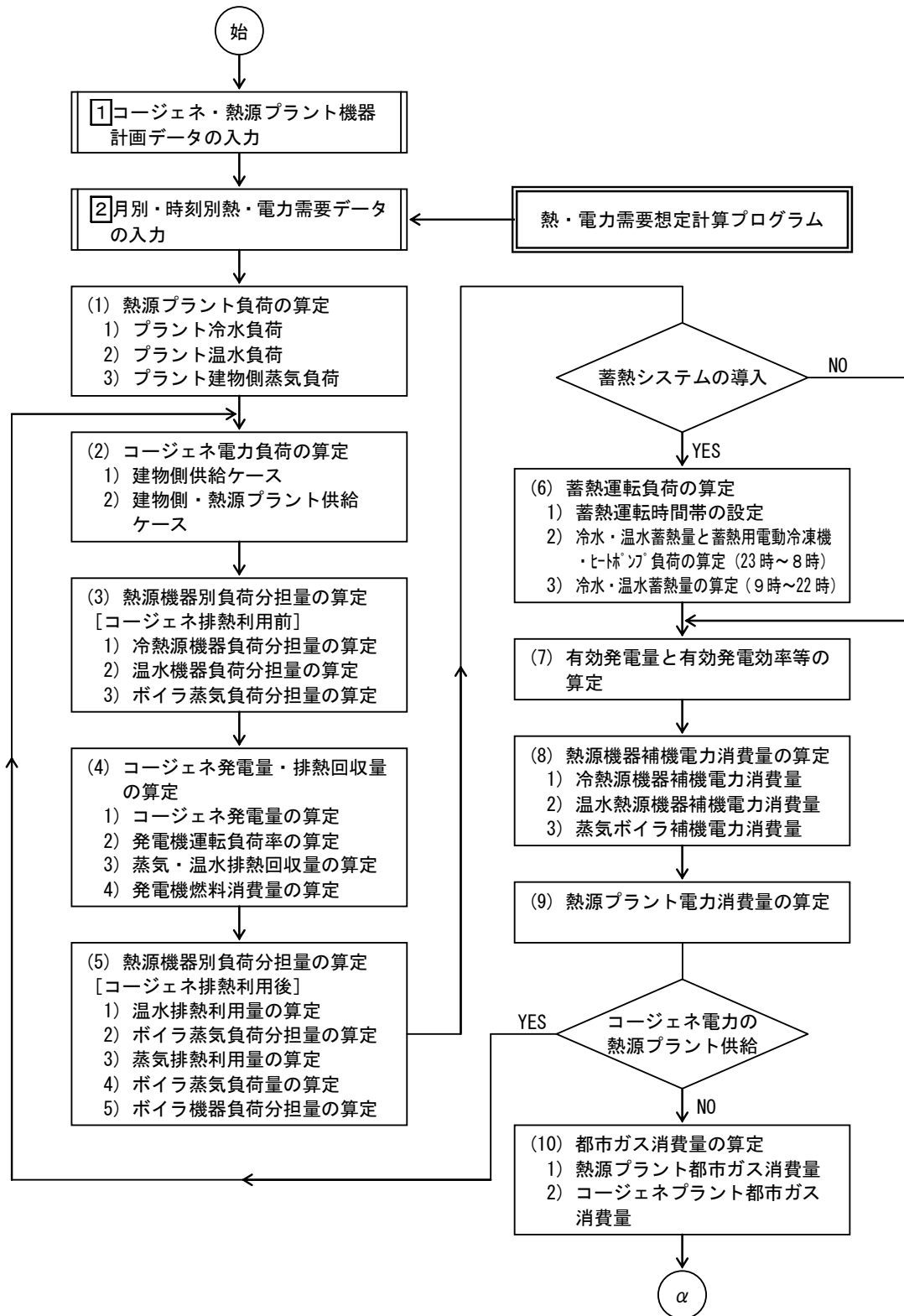


図 4.38(1) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー (1/2)

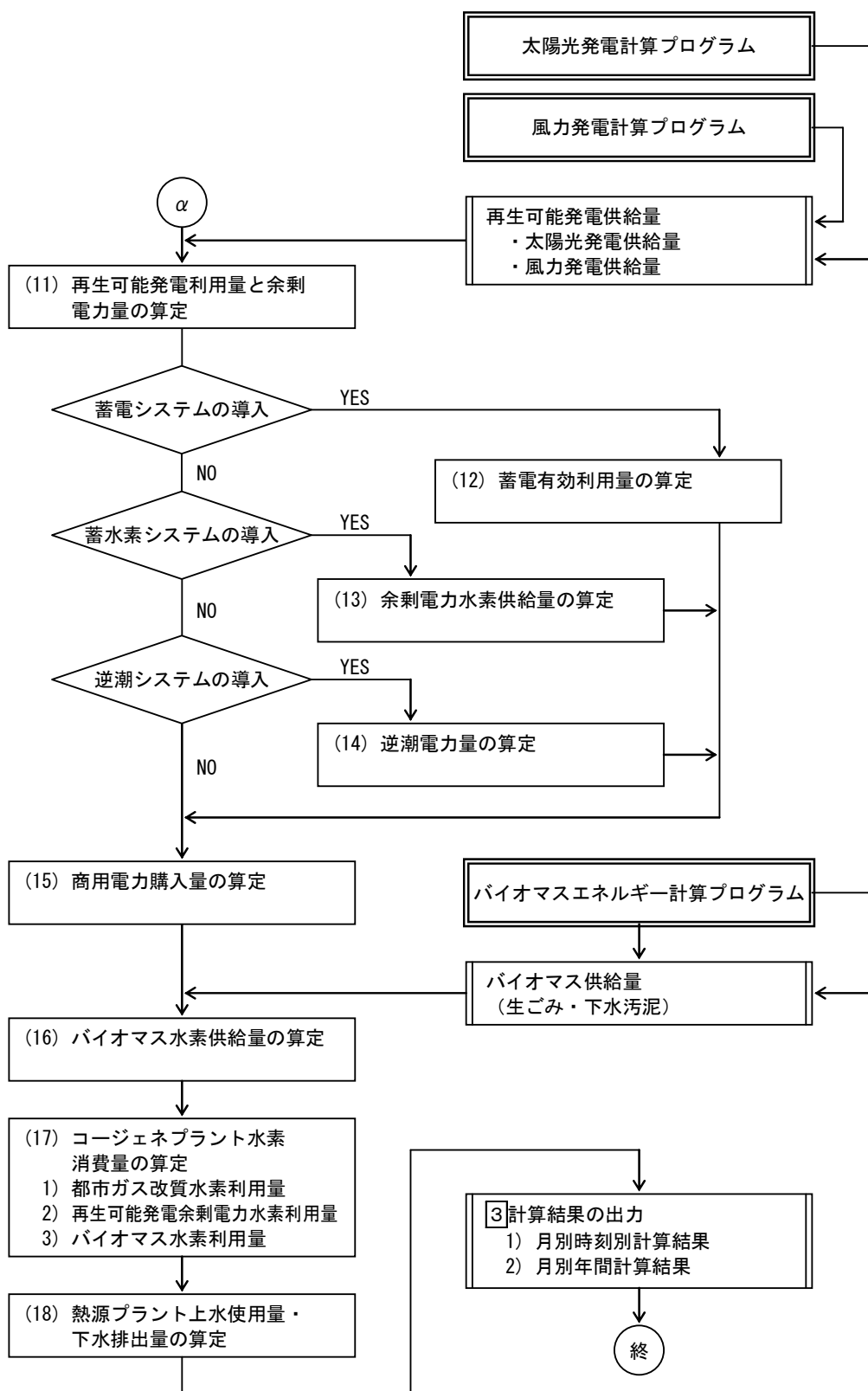


図 4.38 (2) 水素活用燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算フロー (2/2)

3) 燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フロー

本プログラムの計算を想定している燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フローを図 4.39 に示す。

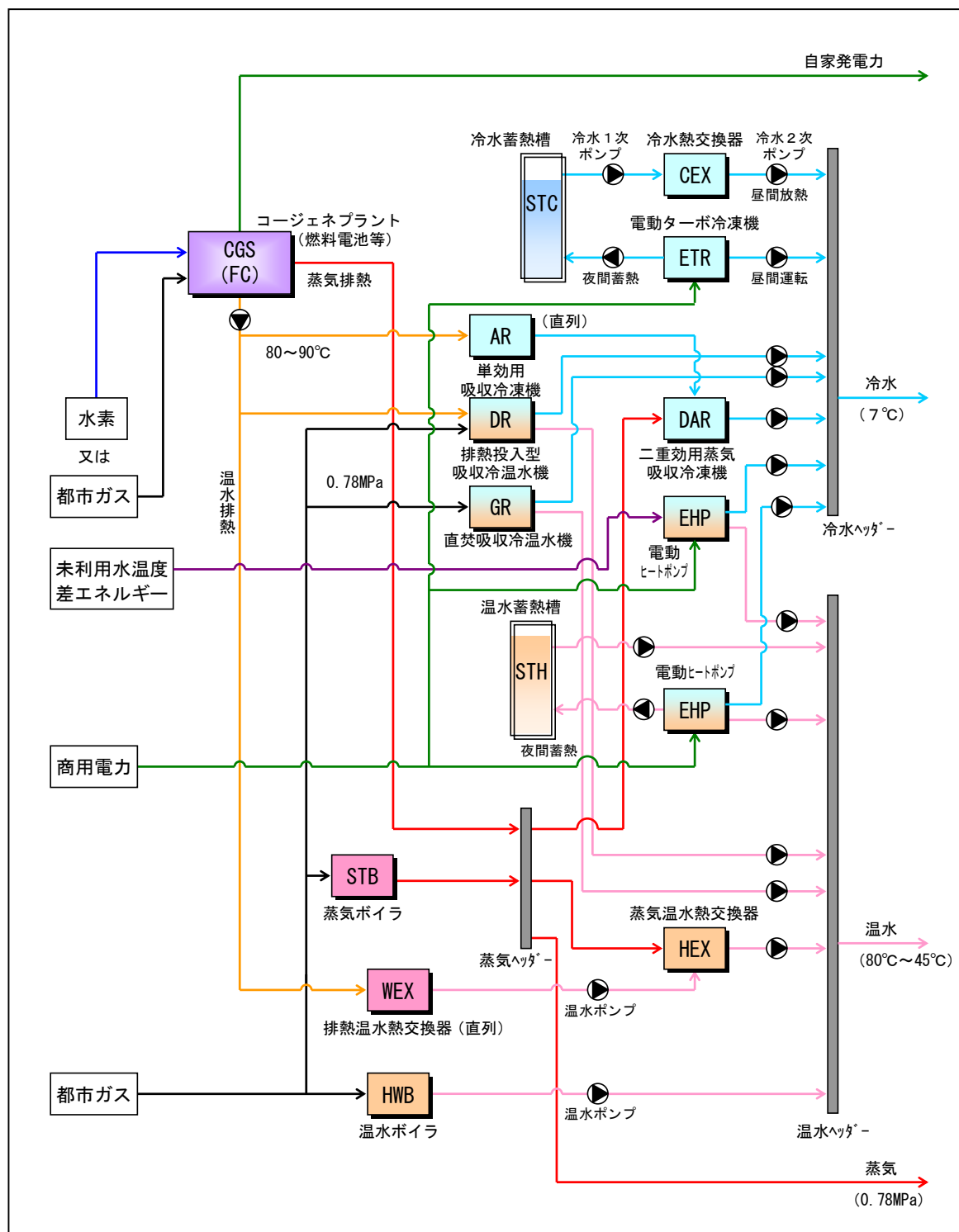


図 4.39 燃料電池コージェネ・熱源プラントのシステム計画フロー

① コージェネ・熱源プラント機器計画データの入力

(i) プラント一般計画データ

1) 供給熱媒条件	・冷水：行き温度	7	°C	返り温度	14	°C	行き返り温度差	7	°C
	・温水：行き温度		°C	返り温度		°C	行き返り温度差		°C
	・蒸気：行き圧力	0.78	MPa	還水温度	80	°C			
2) 建物需要に対する 温水負荷の分担割合	・暖房需要		%						
	・給湯需要		%						
3) 建物需要に対する 蒸気負荷の分担割合	・暖房需要		%						
	・給湯需要		%						
4) 地域導管熱損失率	・冷水		%						
	・温水		%						
	・蒸気		%						
5) 熱源機器運転最大 負荷率	・冷凍機等冷熱源機器	80	%						
	・ボイラ温熱源機器	80	%						
6) プラント面積	・熱源プラント		m ²						
	・コージェネプラント		m ²						

7) 補機電力計画条件	・電動系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動系冷却水ポンプ	冷却水原単位	0.62	m ³ /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動系冷却塔ファン	動力原単位	0.026	kW/RT					
	・二重効用吸収系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・二重効用吸収系冷却水ポンプ	冷却水量	0.94	m ³ /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・二重効用吸収系冷却塔ファン	動力原単位	0.04	kW/RT					
	・単効用吸収系冷水ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・単効用吸収系冷却水ポンプ	冷却水量	1.2	m ³ /RTh	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・単効用吸収系冷却塔ファン	動力原単位	0.048	kW/RT					
	・蒸気温水熱交温水ポンプ	温水温度差	20	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・温水ボイラ温水ポンプ	温水温度差	20	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・蒸気ボイラ給水ポンプ	流量原単位	0.444	t/GJ	ポンプ揚程	120	m	ポンプ総合効率	0.5
	・冷水熱交1次ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	30	m	ポンプ総合効率	0.7
	・冷水熱交2次ポンプ	冷水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・電動ヒートポンプ温水ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
	・直焚吸収冷温水機温水ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7
・温水放熱ポンプ	温水温度差	7	°C	ポンプ揚程	60	m	ポンプ総合効率	0.7	

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
8) 冷却塔ファン負荷率 (%)	50	50	50	70	70	90	90	90	90	70	70	50
9) 平日稼働日数 (日)												
10) 休日稼働日数 (日)												
11) 付帯設備電力原単位 (kW/m ²)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.038	0.038	0.038	0.038	0.025	0.025	0.025
12) 上水補給水原単位 (m ³ /GJ)	※デフォルト値を入力											
・吸収系冷却塔	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
・電動系冷却塔	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
・冷水補給水	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
・温水補給水	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
・蒸気ボイラ補給水	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
・所内用水率	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
13) 下水排出原単位												
・ブロー損失比	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

(デフォルト値)

(ii) 熱源機器計画データ

(ア) 冷熱源機器 (冷水)

種類	台数	略称	容量 (RT)	COP	本体機器 (kW)	運転順位												蓄熱フラグ	
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
①冷水熱交換器	2	CEX01	100	1.0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
		CEX02	100	1.0		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
②電動ターボ冷凍機	2	ETRO1	200	6.0	3.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
		ETRO2	400	6.0	6.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
③二重効用蒸気吸収冷凍機	5	DAR01	400	1.4	6.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0
		DAR02	850	1.4	12.8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0
		DAR03	850	1.4	12.8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0
		DAR04	850	1.4	12.8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0
		DAR05	850	1.4	12.8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0
④単効用吸収冷凍機 (直列)	2	AR01	100	0.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
		AR02	100	0.7		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
⑤直焚吸収冷水機	0																		
⑥電動ヒートポンプ	0																		

注) 蓄熱フラグで1を与えた冷凍機は、夜間の蓄熱運転用機器として設定。
蓄熱運転時間帯では当該機器は冷水供給機器より除外する。

(イ) 冷水蓄熱槽

種類	台数	略称	容量 (m ³)	蓄熱効率 (%)	熱損失率 (%)	月別槽容量												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
冷水槽	-	STC	2000	70	0.12	1000	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000	1000	1000	1000	1000
		入口温度 (°C)	5															
		出口温度 (°C)	12															
		温度差 (°C)	7															
		運転条件				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		運転時間条件				0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922

※運転条件で0を入力すると運転停止

※運転時間条件の「0922」は8:00~22:00で放熱、22:00~8:00で蓄熱運転

(ウ) 温水熱源機器

種類	台数	略称	容量 (MJ/h)	効率	本体機器 (kW)	運転順位												蓄熱 フラグ	
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
① 蒸気温水熱交換器	2	HEX01	1000	0.9	0.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		HEX02	1000	0.9	0.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
② 温水ボイラ	2	HWB01	1000	1.0	1.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		HWB02	1000	1.0	1.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
③ 排熱温水熱交換器	2	WEX01	1000	1.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		WEX02	1000	1.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
⑤ 直焚吸収冷水機	0																		
⑥ 電動ヒートポンプ	0																		

(エ) 蒸気ボイラ

種類	台数	略称	容量 (MJ/h)	効率	本体機器 (kW)	運転順位												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
① 蒸気ボイラ	5	STB01	5415	0.9	6.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		STB02	5415	0.9	6.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		STB03	10830	0.9	12.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		STB04	10830	0.9	12.0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		STB05	21660	0.9	24.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

(オ) 温水蓄熱槽

種類	台数	略称	容量 (m ³)	蓄熱効率 (%)	熱損失率 (%)	月別槽容量												
						1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
温水槽	-	STH																
		入口温度(°C)																
		出口温度(°C)																
		温度差(°C)																
		運転条件																
		運転時間条件					0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922	0922

※運転条件で0を入力すると運転停止

※運転時間条件の「0922」は8:00~22:00で放熱、22:00~8:00で蓄熱運転

(iii) 発電機等運転計画データ

(ア) 発電機システム

項目	入力値	発電機種類											
		1. PEFC	2. PAFC	3. MCFC	4. SOFC	5. GE	6. GT						
①発電機計画													
発電機種類	1	1. PEFC	2. PAFC	3. MCFC	4. SOFC	5. GE	6. GT						
発電機燃料	1	1. 都市ガス	2. 水素	3. LPG	4. 灯油	5. 重油							
定格時発電効率 (LHV)	0.418	(-)											
定格時排熱回収率 (蒸気) (LHV)	0.207	(-)											
定格時排熱回収率 (温水) (LHV)	0.108	(-)											
燃料低位発熱量	40.66	MJ/m ³ N											
単位定格時燃料消費量	0.212	m ³ N/kWh											
単位定格時排熱回収量 (蒸気)	1.783	MJ/kWh											
単位定格時排熱回収量 (温水)	0.930	MJ/kWh											
熱消費量比 (燃料)	Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)			a =	0.7780	b =	0.2158						
排熱回収量比 (蒸気)	Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)			a =	0.7980	b =	0.1888						
排熱回収量比 (温水)	Y=aX+b ; X=発電機負荷率 (-)			a =	0.7220	b =	0.3075						
発電機補機電力消費割合	0.035	(-)											
発電余裕量	0.10	MW											
逆潮条件	0	0. なし	1. あり										
(MW)													
②発電機出力 (MW) と 運転スケジュール	時刻	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	9	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	10	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	11	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	12	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	13	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	14	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	15	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	16	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	17	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	18	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	19	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	20	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	21	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(設定例)

(イ) 蓄電システム

項目	入力値												
蓄電池													
蓄電池容量													
蓄電池有効効率	(-)												
蓄電システム運転条件	0	0. なし	1. あり										

(ロ) 水素システム

項目	入力値												
水素改質・CO2回収装置													
水素製造量	m ³ N/h												
水素改質効率	(-)												
CO2回収率	(-)												
補機電力原単位	0	kWh/m ³ N											
水電気分解水素製造装置													
水素製造量	m ³ N/h												
電解効率	(-)												
圧縮効率	(-)												
水素タンク													
タンク容量													
蓄水素システム運転条件	0	0. なし	1. あり										

②計算ロジックの整理

(i) 熱源プラント負荷の算定

(ア) プラント冷水負荷

月別時刻別のプラント冷水負荷は、供給対象建物の「冷房需要想定量」に、冷水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\circ \text{ プラント冷水負荷} = \text{冷房需要量} \times (1 + \text{冷水地域導管熱損失率}) \quad (4.131)$$

(イ) プラント温水負荷

月別時刻別のプラント温水負荷は、供給対象建物の「暖房需要量」・「給湯需要量」と暖房と給湯の「温水負荷分担割合」に基づいて算定される建物側の温水需要量に、温水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} \circ \text{ プラント温水負荷} = & \{ (\text{暖房需要量} \times \text{暖房温水負荷分担割合}) \\ & + (\text{給湯需要量} \times \text{給湯温水負荷分担割合}) \} \\ & \times (1 + \text{温水地域導管熱損失率}) \end{aligned} \quad (4.132)$$

(ウ) プラント建物側蒸気負荷

月別時刻別のプラント蒸気負荷は、供給対象建物の「暖房需要量」・「給湯需要量」と暖房と給湯の「蒸気負荷分担割合」並びに「蒸気需要量」に基づいて算定される建物側の蒸気需要量に、蒸気還水地域導管熱損失率を乗じて算定する。

$$\begin{aligned} \circ \text{ プラント建物側蒸気負荷} = & \{ (\text{暖房需要量} \times \text{暖房蒸気負荷分担割合}) \\ & + (\text{暖房需要量} \times \text{給湯蒸気負荷分担割合}) + \text{蒸気需要量} \} \\ & \times (1 + \text{蒸気還水地域導管熱損失率}) \end{aligned} \quad (4.133)$$

(ii) コージェネ電力負荷の算定

(ア) 建物側供給ケースの場合

本ケースの月別時刻別のコージェネ電力負荷は、建物側の「熱・電力需要想定計算プログラム」で自家発電の供給対象として求めた「コージェネ電力需要量」を設定する。

$$\circ \text{ コージェネ電力負荷} = \text{コージェネ電力需要量}$$

(イ) 建物側・熱源プラント供給ケースの場合

本ケースの月別時刻別のコージェネ電力負荷は、建物側のコージェネ電力需要量に熱源プラントの電力負荷量を加えて設定する。

なお、本ケースの熱源プラント電力負荷量は、コージェネ排熱の有効利用量により、熱源プラント補機電力量が若干異なるため、「熱源プラント電力負荷量」が安定するまでループ計算を行う。

○ コージェネ電力負荷 = コージェネ電力需要量 + 熱源プラント電力負荷量

(iii) 熱源機器別負荷分担量の算定 [コージェネ排熱利用前]

(ア) 冷熱源機器負荷分担量の算定 [排熱利用前]

冷熱源機器の冷水負荷分担量は、当該時刻の「プラント冷水負荷量」と「冷凍機等冷熱源機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

・ 冷熱源機器運転台数の設定

○ プラント冷水負荷量 > 第1順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{運転最大負荷率}(\%) \times 0.01$$

○ プラント冷水負荷量 > [第1順位 + 第2順位] の冷熱源機器容量合計 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{運転最大負荷率}(\%) \times 0.01$$

となるNC (=冷熱源機器運転台数) を求める。

・ 冷熱源機器運転負荷率の算定

○ 冷熱源機器運転負荷率(%) = プラント冷水負荷量

$$\div ([\text{第1順位} + \dots + \text{第N順位}] \text{の冷熱源機器容量合計}(\text{RT}))$$

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times 10$$

・ 冷熱源機器別冷水負荷量の算定

○ 第1順位の冷熱源機器冷水負荷量 = 第1順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{冷熱源機器運転負荷率}(\%) \times 0.01$$

以下、第N順位まで繰り返す。

○ 第N順位の冷熱源機器冷水負荷量 = 第N順位の冷熱源機器容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3} \times \text{冷熱源機器運転負荷率}(\%) \times 0.01$$

(i) 温水熱源機器負荷分担量の算定 [排熱利用前]

温水熱源機器の温水負荷分担量は、当該時刻の「プラント温水負荷量」と「温水熱源機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

・ 温水熱源機器運転台数の設定

○ プラント温水負荷量>

$$\text{第1順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01$$

○ プラント温水負荷量>

$$\begin{aligned} & \text{[第1順位+第2順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \\ & \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

以下、第1順位から第N順位まで繰り返して、

○ プラント温水負荷量<

$$\begin{aligned} & \text{[第1順位+\dots+第N順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \\ & \times \text{運転最大負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

となるNH (= 温水熱源機器運転台数) を求める。

・ 温水熱源機器運転負荷率の算定

○ 温水熱源機器運転負荷率(\%) = プラント温水負荷量

$$\div \text{[第1順位+\dots+第N順位]の温水熱源機器容量合計(MJ/h)} \times 100$$

・ 温水熱源機器別温水負荷量の算定

$$\begin{aligned} \text{第1順位の温水熱源機器温水負荷量} &= \text{第1順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \\ & \times \text{温水熱源機器運転負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

以下、第N順位まで繰り返す。

$$\begin{aligned} \text{第N順位の温水熱源機器温水負荷量} &= \text{第N順位の温水熱源機器容量(MJ/h)} \\ & \times \text{温水熱源機器運転負荷率(\%)} \times 0.01 \end{aligned}$$

(ウ)ボイラ蒸気負荷分担量の算定 [排熱利用前]

・二重効用吸収冷凍機冷水負荷量の算定

○ 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 = 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値

○ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量

= 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値 ÷ 吸収冷凍機COP

・蒸気温水熱交換器の所要蒸気負荷量の算定

○ 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量

= 温水蒸気熱交換器別温水負荷量合計値 × 1.0

・ボイラ蒸気負荷量 [排熱利用前] の算定

○ ボイラ蒸気負荷量 [排熱利用前] = プラント建物側蒸気負荷量

+ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量

+ 温水蒸気熱交換器所要蒸気負荷量

(iv) コージェネ発電量と排熱回収量の算定

(ア) コージェネ発電量の算定

「コージェネ電力負荷」と入力データで設定した「運転発電機容量」とを比較して、コージェネ発電量を算定する。

- ・ コージェネ電力負荷 > 運転発電機容量の時は
 - コージェネ発電量 = 運転発電機容量

- ・ コージェネ電力負荷 ≤ 運転発電機容量の時は
 - コージェネ発電量 = コージェネ電力負荷 - 発電余裕量

(イ) 発電機運転負荷率の算定

- 発電機運転負荷率 = コージェネ発電量 ÷ 運転発電機容量 × 100

(ウ) 蒸気・温水排熱回収量の算定

- 蒸気排熱回収量 = 運転発電機容量 (MW) × 単位定格時蒸気排熱回収量 (MJ/kWh)
× 蒸気排熱回収量比

注) 単位定格時蒸気排熱回収量 = 3.6MJ/kWh ÷ 定格時発電効率
× 定格時蒸気排熱回収率

$$\text{蒸気排熱回収量比} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率}(\%) \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

- 温水排熱回収量 = 運転発電機容量 (MW) × 単位定格時温水排熱回収量 (MJ/kWh)
× 温水排熱回収量比

注) 単位定格時温水排熱回収量 = 3.6MJ/kWh ÷ 定格時発電効率
× 定格時温水排熱回収率

$$\text{温水排熱回収量比} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率}(\%) \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

(エ) 発電機燃料消費量の算定

$$\begin{aligned} \circ \text{ 発電機燃料消費量 (千 m}^3\text{N/h)} &= \text{運転発電機容量 (MW)} \\ &\times \text{単位定格時燃料消費量 (m}^3\text{N/kWh)} \times \text{熱消費量比 (燃料)} \end{aligned}$$

$$\text{注) 単位定格時燃料消費量 (m}^3\text{ N/kWh)} = 3.6\text{MJ/kWh} \div (\text{定格時発電効率} \\ \times \text{燃料低位発熱量})$$

$$\text{熱消費量比 (燃料)} = aX + b$$

$$X = \text{発電機負荷率 (\%)} \times 0.01$$

a、b は発電機特性値

いずれも入力データによる。

(ヴ) 熱源機器別負荷分担量の算定 [コージェネ排熱利用後]

(ア) 温水排熱利用量の算定

温水排熱回収量の用途は、単効用吸収冷凍機による冷水負荷用と温水排熱熱交換器による温水負荷用の2種類が考えられるが、利用の優先順位は、冷水負荷用の効率が低いため温水負荷用を優先する。

・ 温水負荷用温水排熱利用量の算定

→ プラント温水負荷 \geq 温水排熱回収量の時

$$\text{温水負荷用温水排熱利用量} = \text{温水排熱回収量}$$

→ プラント温水負荷 < 温水排熱回収量の時

$$\text{温水負荷用温水排熱利用量} = \text{プラント温水負荷}$$

・ 冷水負荷用温水排熱利用量の算定

→ プラント温水負荷 \geq 温水排熱回収量の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = 0$$

→ プラント温水負荷 < 温水排熱回収量の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用可能量} = \text{温水排熱回収量} - \text{プラント温水負荷}$$

→ プラント冷水負荷 > 冷水負荷用温水排熱利用可能量 \times 単効用吸収 COP の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = \text{温水排熱回収量} - \text{プラント温水負荷}$$

→ プラント冷水負荷 \leq 冷水負荷用温水排熱利用可能量 \times 単効用吸収 COP の時

$$\text{冷水負荷用温水排熱利用量} = \text{プラント冷水負荷} \div \text{単効用吸収 COP}$$

・ 温水排熱利用量の算定

$$\circ \text{ 温水排熱利用量} = \text{温水負荷用温水排熱利用量} + \text{冷水負荷用温水排熱利用量}$$

(イ)ボイラ蒸気負荷分担量の算定 [温水排熱利用後]

- 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量の算定
 - 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 = 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量合計値
− 冷水負荷用温水排熱量 × 単効用吸収COP
 - 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量
= 二重効用吸収冷凍機別冷水負荷量 ÷ 吸収冷凍機COP

- 蒸気温水熱交換器の所要蒸気負荷量の算定
 - 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量
= 蒸気温水熱交換器別温水負荷量合計値 × 1.0
− 温水負荷用温水排熱利用量

- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] の算定
 - ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] = プラント建物側蒸気負荷量
+ 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量
+ 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量

(ウ)蒸気排熱利用量の算定

- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] > 蒸気排熱回収量の時
 - 蒸気排熱利用量 = 蒸気排熱回収量
- ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] ≤ 蒸気排熱回収量の時
 - 蒸気排熱利用量 = ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後]
- ボイラ蒸気負荷量 [蒸気温水排熱利用後] の算定
 - ボイラ蒸気負荷量 [蒸気温水排熱利用後]
= ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] − 蒸気排熱利用量

(エ)ボイラ機器負荷分担量の算定 [排熱利用後]

ボイラ機器の蒸気負荷分担量は、当該時刻の「ボイラ蒸気負荷量」と「ボイラ機器の運転最大負荷率」に基づいて次のように算定する。

・ボイラ運転台数の設定

○ ボイラ蒸気負荷量 > 第 1 順位のボイラ機器容量 (MJ/h) × 0.001
× 運転最大負荷率 (%) × 0.01

○ ボイラ蒸気負荷量 > [第 1 順位 + 第 2 順位] ボイラ機器容量合計 × 0.001
× 運転最大負荷率 (%) × 0.01

以下、第 1 順位から第 N 順位まで繰り返して、

○ ボイラ蒸気負荷量 < [第 1 順位 + … + 第 N 順位] ボイラ機器容量合計 × 0.001
× 運転最大負荷率 (%) × 0.01

となる NB (= 運転台数) を求める。

・ボイラ運転負荷率の算定

○ ボイラ運転負荷率 (%) = ボイラ蒸気負荷量
÷ ([第 1 順位 + … + 第 N 順位] ボイラ機器容量合計 × 0.001) × 100

(vi)蓄熱運転負荷の算定

(ア)冷水蓄熱運転負荷の算定

・蓄熱運転時間帯の設定

蓄熱運転時間帯は、放熱用の「冷水熱交換器」の運転時間帯で設定した時間帯を除く時間帯として設定する。

(例) 冷水熱交換器運転時間条件

1月	～	12月
0922		0922

とした場合、「8：00～22：00」で冷水熱交換器を運転。

この場合の蓄熱運転時間帯は「22：00～8：00」と設定する。

注)「0922」の意味は「09」時より「22」時までの運転を示す。

本プログラムの時刻の標記では、「01」時から「24」時としており、「01」時は「0：00～1：00」の1時間値を示す。

・冷水蓄熱量と蓄熱用電動冷凍機負荷の算定（22：00～8：00）

○ 当該時刻蓄熱量初期値＝前時刻残存蓄熱量＋蓄熱用電動冷凍機定格容量 (RT)

$$\times 3.024 \times 4.186 \times 10^{-3}$$

→当該時刻蓄熱量＞冷水最大蓄熱量の場合

- 当該時刻蓄熱量＝冷水最大蓄熱量
- 当該時刻蓄熱用電動冷凍機負荷＝冷水最大蓄熱量－前時刻残存蓄熱量
- 次時刻以降の蓄熱用電動冷凍機負荷＝0

→当該時刻蓄熱量≤冷水最大蓄熱量の場合

- 当該時刻蓄熱量＝当該時刻蓄熱量初期値
- 当該時刻蓄熱用電動冷凍機負荷＝蓄熱用電動冷凍機定格容量

・冷水蓄熱量の算定（8：00～22：00）

冷水熱交換器の運転による冷水槽から冷水を放熱する時の冷水蓄熱量は次のように算定する。

○ 当該時刻蓄熱量＝前時刻残存蓄熱量－当該時刻冷水熱交換器負荷

(i) 温水蓄熱運転負荷の算定

・蓄熱運転時間帯の設定

蓄熱運転時間帯は、放熱運転時間帯で設定した時間帯を除く時間帯として設定する。

(例) 放熱運転時間条件

1月	~	12月
0922		0922

とした場合、「8：00～22：00」で放熱運転。

この場合の蓄熱運転時間帯は「22：00～8：00」と設定する。

注) 「0922」の意味は「09」時より「22」時までの運転を示す。

本プログラムの時刻の標記では、「01」時から「24」時としており、「01」時は「0：00～1：00」の1時間値を示す。

・温水蓄熱量と蓄熱用電動ヒートポンプ負荷の算定（22：00～8：00）

○ 当該時刻蓄熱量初期値＝前時刻残存蓄熱量

＋蓄熱用電動ヒートポンプ定格容量(MJ/h)×10⁻³

◆ 当該時刻蓄熱量＞温水最大蓄熱量の場合

○ 当該時刻蓄熱量＝温水最大蓄熱量

○ 当該時刻蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝温水最大蓄熱量－前時刻残存蓄熱量

○ 次時刻以降の蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝0

◆ 当該時刻蓄熱量≤温水最大蓄熱量の場合

○ 当該時刻蓄熱量＝当該時刻蓄熱量初期値

○ 当該時刻蓄熱用電動ヒートポンプ負荷＝蓄熱用電動ヒートポンプ定格容量

・温水蓄熱量の算定（8：00～22：00）

放熱運転による温水槽から温水を放熱する時の温水蓄熱量は次のように算定する。

○ 当該時刻蓄熱量＝前時刻残存蓄熱量－当該時刻放熱負荷

(vii)有効発電量と有効発電効率等の算定

- 発電機補機電力量 = 発電機負荷量 × 発電機補機電力消費割合
- 有効発電量 = 発電機負荷量 - 発電機補機電力量
- 有効発電効率 (%) = 有効発電量 × 3.6 ÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 温水排熱有効回収率 (%) = 温水排熱利用量
÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 蒸気排熱有効回収率 (%) = 蒸気排熱利用量
÷ (発電機燃料消費量 × 燃料低位発熱量) × 100
- 有効総合熱効率 (%) = 有効発電効率 + 温水排熱有効回収率 + 蒸気排熱有効回収率

(viii)熱源機器補機電力消費量の算定

(7)冷熱源機器補機電力消費量

入力した全ての冷熱源機器に対応する冷水ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔ファンの所要動力を算定しておいて、時刻毎に冷水負荷分担で設定したNC台の運転機器の補機動力を集計する。

- ・ 冷水熱交換器の補機所要動力の算定
 - 冷水1次ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163
÷ ポンプ総合効率
 - 冷水2次ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163
÷ ポンプ総合効率
- ・ 各冷凍機の補機所要動力の算定
 - 冷水ポンプ所要動力 = 冷水流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m)
× 0.163 ÷ ポンプ総合効率
 - 冷水流量 = 冷熱源機器容量 (RT) × 3.024 ÷ 冷水温度差
 - 冷却水ポンプ所要動力 = 冷却水流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163
÷ ポンプ総合効率
 - 冷却水流量 = 冷熱源機器容量 (RT) × 冷却水原単位 (m³/RTh)
 - 冷却塔ファン所要動力 = 冷熱源機器容量 (RT) × 冷却塔ファン原単位 (kW/RT)
× 月別冷却塔ファン負荷率 (%) × 0.01

・冷熱源補機電力消費量の算定

- 冷熱源補機電力消費量 = 冷凍機本体補機動力 + 冷水ポンプ所要動力
+ 冷却水ポンプ所要動力 + 冷却塔ファン所要動力
+ 冷水 1 次ポンプ所要動力 + 冷水 2 次ポンプ所要動力

(i) 温水熱源機器補機電力消費量

入力した全ての温水熱源機器に対応する温水ポンプの所要動力を算定しておいて、時刻毎に温水負荷分担で設定した NH 台の運転機器の補機動力を集計する。

- 温水ポンプ所要動力 = 温水流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163 ÷ ポンプ総合効率
温水流量 = 温水熱源機器容量 (MJ/h) ÷ 4.186 ÷ 温水温度差
- 温水熱源機器補機電力消費量 = 温水ボイラ本体補機動力 + 温水ポンプ所要動力

(ii) 蒸気ボイラ補機電力消費量

入力した全ての蒸気熱源機器に対応する蒸気ボイラ給水ポンプの所要動力を算定しておいて、時刻毎にボイラ蒸気負荷分担で設定した NB 台の運転機器の補機動力を集計する。

- 蒸気ボイラ給水ポンプ所要動力 = 蒸気流量 (m³/h) × ポンプ揚程 (m) × 0.163
÷ ポンプ総合効率
蒸気流量 = ボイラ容量 (MJ/h) ÷ 4.186 ÷ 0.538 × 0.001
- 蒸気ボイラ補機電力消費量 = 蒸気ボイラ本体補機動力
+ 蒸気ボイラ給水ポンプ所要動力

(ix) 熱源プラント電力消費量の算定

(f) 電動冷凍機主機電力消費量の算定

冷熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、電動冷凍機負荷を集計し、平均 COP により主機電力消費量を算定する。

- 電動冷凍機主機電力消費量 = 電動冷凍機負荷 (GJ/h)
÷ (電動冷凍機平均 COP × 3.6GJ/MWh)

(i) 電動ヒートポンプ主機電力消費量の算定

温熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、電動ヒートポンプ負荷を集計し、平均 COP により主機電力消費量を算定する。

- 電動ヒートポンプ主機電力消費量 = 電動ヒートポンプ負荷 (GJ/h)
÷ (電動ヒートポンプ平均 COP × 3.6GJ/MWh)

(ウ)熱源機器補機電力消費量の算定

熱源機器補機電力消費量は、冷熱源機器補機と温水熱源機器補機並びに蒸気ボイラ補機の電力消費量の合計値とする。

- 熱源機器補機電力消費量＝冷熱源機器補機電力消費量
＋温水熱源機器補機電力消費量＋蒸気ボイラ補機電力消費量

(エ)付帯設備電力消費量の算定

付帯設備電力消費量は、熱源プラント面積に月別に設定した付帯設備電力原単位を乗じて算定する。

- 付帯設備電力消費量＝熱源プラント面積(m²)×付帯設備電力原単位(kW/m²)
×0.001

(カ)熱源プラント電力消費量の算定

熱源プラント電力消費量は、電動冷凍機主機と熱源機器補機並びに付帯設備の電力消費量の合計値として算定する。

- 熱源プラント電力消費量＝電動冷凍機主機電力消費量
＋電動ヒートポンプ主機電力消費量＋熱源機器補機電力消費量
＋付帯設備電力消費量

(キ)都市ガス消費量の算定

(ア)熱源プラント都市ガス消費量の算定

熱源プラント都市ガス消費量は、排熱利用後の熱源機器負荷分担量の算定結果に基づいて、蒸気ボイラ負荷（排熱利用後）と温水ボイラ負荷（排熱利用後）を集計し、設定した平均ボイラ効率により算定する。

- 蒸気ボイラ都市ガス消費量＝蒸気ボイラ負荷(蒸気排熱利用後)
÷(蒸気ボイラ平均効率×都市ガス低位発熱量)
- 温水ボイラ都市ガス消費量＝温水ボイラ負荷(温水排熱利用後)
÷(温水ボイラ平均効率×都市ガス低位発熱量)
- 熱源プラント都市ガス消費量＝蒸気ボイラ都市ガス消費量
＋温水ボイラ都市ガス消費量

(イ)コージェネプラント都市ガス消費量の算定

コージェネプラントの発電機に使用する燃料が都市ガスの場合、先に求めた「発電機燃

料消費量」をコージェネプラント都市ガス消費量として設定する。

<発電機の燃料が都市ガスの場合>

- コージェネプラント都市ガス消費量＝発電機燃料消費量

なお、発電機の燃料が水素の場合、コージェネプラント都市ガス消費量はゼロとする。

(x i)再生可能発電利用量と余剰量の算定

はじめに、再生可能発電供給量とコージェネ供給対象商用電力購入量を次のように求めておく。

- 再生可能発電供給量＝太陽光発電供給量＋風力発電供給量
- コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)
＝コージェネ電力負荷－コージェネ発電量

再生可能発電利用量は、コージェネ供給対象商用電力購入量と再生可能発電供給量の大小関係に基づいて次のように算定する。

(7)コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)＞再生可能発電供給量の場合

- 再生可能発電利用量＝再生可能発電供給量
- 再生可能発電余剰量＝0

(i)コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)≤再生可能発電供給量の場合

- 再生可能発電利用量＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)
- 再生可能発電余剰量＝再生可能発電供給量
－コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)

- コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用後)
＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)－再生可能発電利用量

(xii)蓄電有効利用量の算定

蓄電システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を蓄電池に貯蔵し、「コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用後)」に充当する。この時の蓄電有効利用量は次のように算定する。

- 蓄電有効利用量＝再生可能発電余剰量×蓄電池有効効率

この時のコージェネ供給対象商用電力購入量(蓄電利用後)は次のように算定する。

- コージェネ供給対象商用電力購入量(蓄電利用後)
＝コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前)－蓄電有効利用量

(xiii)再生可能発電余剰電力水素供給量の算定

蓄電システムではなく、蓄水素システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を水電気分解装置により水素に変換し、都市ガス改質水素供給量に充当する。この時の余剰電力水素供給量は次のように算定する。

- 再生可能発電余剰電力水素供給量＝再生可能発電余剰量×水電気分解水素製造効率

(xiv)逆潮電力量の算定

逆潮システムを導入するケースでは、上記の再生可能発電余剰量を商用電力の系統に逆潮するものとする。

- 逆潮電力量＝再生可能発電余剰量

(xv)商用電力購入量の算定

(ア)熱源プラント電力はコージェネ電力の供給対象としない場合

- 商用電力購入量＝熱源プラント電力消費量＋コージェネ供給対象商用電力購入量

(イ)熱源プラント電力をコージェネ電力の供給対象とする場合

- 商用電力購入量＝コージェネ供給対象商用電力購入量

(xvi)バイオマス水素供給量の算定

「バイオマスエネルギー計算プログラム」により算定される当該地区での利用可能な「バイオマス起源都市ガス供給量」のデータに基づいて、バイオマス水素供給量を算定する。

(ア)生ごみの場合

- バイオマス水素供給量＝生ごみ起源都市ガス供給量×都市ガス改質効率(LHV基準)

×都市ガス低位発熱量÷水素低位発熱量

(i)下水汚泥の場合

- バイオマス水素供給量＝下水汚泥起源都市ガス供給量×都市ガス改質効率(LHV基準)
×都市ガス低位発熱量÷水素低位発熱量

(xvii)コージェネプラント水素消費量の算定

コージェネプラント水素消費量は、発電機燃料が水素の場合に算定した「発電機燃料消費量」を設定する。

(ア)発電機燃料が水素の場合

- コージェネプラント水素消費量＝発電機燃料消費量

(イ)発電機燃料が都市ガスの場合

- コージェネプラント水素消費量＝0

コージェネプラント水素消費量に対して、水素供給の優先順位を①再生可能発電余剰電力水素利用量、②バイオマス水素利用量、③都市ガス改質水素利用量として、それぞれの水素利用量を求める。

- 都市ガス改質水素利用量＝コージェネプラント水素消費量
－再生可能発電余剰電力水素利用量－バイオマス水素利用量

(xviii)熱源プラント上水使用量・下水排出量の算定

(ア)上水使用量の算定

上水使用量は、冷却塔補給水量、冷水補給水量、温水補給水量、蒸気ボイラ補給水量並びに所内用水量に分けて、次のように算定する。

- ・ 冷却塔補給水量
 - 吸収系冷却塔補給水量
＝吸収冷凍機冷水負荷量×月別吸収系冷却塔補給水原単位
 - 電動系冷却塔補給水量
＝電動冷凍機冷水負荷量×月別電動系冷却塔補給水原単位
 - 冷却塔補給水量＝吸収系冷却塔補給水量＋電動系冷却塔補給水量
- ・ 冷水補給水量
 - 冷水補給水量＝プラント冷水負荷量×月別冷水補給水原単位

- ・ 温水補給水量
 - 温水補給水量 = プラント温水負荷量 × 月別温水補給水原単位
- ・ 蒸気ボイラ補給水量
 - 蒸気ボイラ補給水量
 - = 蒸気ボイラ負荷量(排熱利用前) × 蒸気ボイラ補給水原単位
- ・ 所内用水量
 - 所内用水量 = (i + ii + iii + iv) × 月別所内用水率
- ・ 上水使用量
 - 上水使用量 = i + ii + iii + iv + v

(イ) 下水排出量の算定

下水排出量は、冷却塔補給水量のうち冷却塔からの蒸発損失分と飛散損失分は下水に排出されないため、ブロー損失分を計上して次のように算定する。

- 下水排出量 = i × 月別ブロー損失比率 + ii + iii + iv + v

(ウ) エネルギー消費量計算結果の出力項目

前記で整理したエネルギー消費量計算結果の出力項目をまとめて表 4.35～表 4.37 に示す。

表 4.35 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目（1-5）

分類	出力項目	備考
1. 熱源プラント負荷	<ul style="list-style-type: none"> ● プラント冷水負荷量 ● プラント温水負荷量 ● プラント建物側蒸気負荷量 	
2. コージェネ電力負荷	<ul style="list-style-type: none"> ● コージェネ電力需要量 ● 熱源プラント電力負荷量 ● コージェネ電力負荷量 	
3.1 冷熱源機器負荷分担量[排熱利用前]	<ul style="list-style-type: none"> ● 冷熱源機器別冷水負荷量 [排熱利用前] ● 冷熱源機器運転負荷率 [排熱利用前] 	入力台数分の機器を別々に出力
3.2 温熱源機器負荷分担量[排熱利用前]	<ul style="list-style-type: none"> ● 温水熱源機器別温水負荷量 [排熱利用前] ● 温水熱源機器運転負荷率 [排熱利用前] 	入力台数分の機器を別々に出力
3.3 ボイラ蒸気負荷分担量[排熱利用前]	<ul style="list-style-type: none"> ● 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 [排熱利用前] ● 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量 [排熱利用前] ● 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量 [排熱利用前] ● ボイラ蒸気負荷量 [排熱利用前] 	
4. コージェネ発電量と排熱回収量	<ul style="list-style-type: none"> ● コージェネ発電量 ● 発電機運転負荷率 ● 蒸気排熱回収量 ● 温水排熱回収量 ● 発電機燃料消費量 	
5. 熱源機器別負荷分担量[排熱利用後]	<ul style="list-style-type: none"> ● 温水負荷用温水排熱利用量 ● 冷水負荷用温水排熱利用量 ● 温水排熱利用量 ● 二重効用吸収冷凍機冷水負荷量 [温水排熱利用後] ● 二重効用吸収冷凍機所要蒸気負荷量 [温水排熱利用後] ● 蒸気温水熱交換器所要蒸気負荷量 [温水排熱利用後] ● ボイラ蒸気負荷量 [温水排熱利用後] 	

表 4.36 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目 (6-11)

分類	出力項目	備考
6. 蓄熱運転負荷	<ul style="list-style-type: none"> ● 蓄熱用電動冷凍機負荷 ● 冷水蓄熱量 ● 冷水熱交換器負荷 ● 蓄熱用電動ヒートポンプ負荷 ● 温水蓄熱量 ● 放熱温水負荷 	
7. 有効発電量・有効発電効率等	<ul style="list-style-type: none"> ● 発電機補機電力量 ● 有効発電量 ● 有効発電効率 ● 温水排熱有効回収率 ● 蒸気排熱有効回収率 ● 有効総合熱効率 	
8. 熱源機器補機電力消費量	<ul style="list-style-type: none"> ● 冷熱源補機電力消費量 ● 温水熱源機器補機電力消費量 ● 蒸気ボイラ補機電力消費量 	
9. 熱源プラント電力消費量	<ul style="list-style-type: none"> ● 電動冷凍機主機電力消費量 ● 電動ヒートポンプ主機電力消費量 ● 熱源機器補機電力消費量 ● 付帯設備電力消費量 ● 熱源プラント電力消費量 	
10. 都市ガス消費量	<ul style="list-style-type: none"> ● 蒸気ボイラ都市ガス消費量 ● 温水ボイラ都市ガス消費量 ● 直燃吸収冷温水機都市ガス消費量 ● 熱源プラント都市ガス消費量 ● コージェネプラント都市ガス消費量 	
11. 再生可能発電利用量・余剰量	<ul style="list-style-type: none"> ● 再生可能発電供給量 ● コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用前) ● コージェネ供給対象商用電力購入量(再生可能発電利用後) ● 再生可能発電利用量 ● 再生可能発電余剰量 	

表 4.37 月別・時刻別エネルギー消費量計算結果の出力項目（12-18）

分 類	出力項目	備 考
12. 蓄電有効利用量	● 蓄電有効利用量	
13. 水素供給量	● 再生可能余剰電力水素供給量	
14. 逆潮電力量	● 逆潮電力量	
15. 商用電力購入量	● 商用電力購入量	
16. バイオマス水素供給量	● バイオマス水素供給量	
17. コージェネプラント水素消費量	● コージェネプラント水素消費量 ● 都市ガス改質水素利用量	
18. 熱源プラント上水 使用量・下水排出 量	● 冷却塔補給水量 ● 冷水補給水量 ● 温水補給水量 ● 蒸気ボイラ補給水量 ● 所内用水量 ● 上水使用量 ● 下水排出量	

(7) 水素活用燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算プログラム

(住宅用)

(a) シミュレーションモデルの考え方

1) 燃料電池システム

- 現在、既に商品化されている家庭用PEFCと研究開発が進められているSOFCによる燃料電池システムを想定する。燃料電池システムフローを図4.40に示す。
- また、燃料電池本体の機器仕様（出力、効率、反応速度等）と運転制御方法、貯湯槽の機器仕様は各メーカーの目標スペック等を参考に設定する（表4.38）。

① 電力・給湯需要条件

- 住戸電力・給湯需要条件は、4.2.1にて調査を実施したIBECによる住戸データで得られた月別代表週10分値データにより構成される電力・給湯需要モデルを設定する。

② 外気温・給水温度条件

- 検討地区における月別の外気温と給水温度条件を設定する。

③ システム運転条件

(i) PEFC の場合

- DSS (Daily Start & Stop) 運転で電主熱従運転を基本とする。ただし、貯湯槽満蓄時には運転を停止する。
- 運転開始時刻の設定にあたっては、「開始時刻指定」と「学習制御による自動設定」の2ケースを設定する。

(ii) SOFC の場合

- 連続運転で電主熱従運転を基本とする。
- 余剰排熱はラジエータより放熱する。

注) 最低発電量を下回る時の運転条件

- PEFCで逆潮なしの場合は、余剰電力は貯湯タンク内の加熱ヒーターにて温水加熱に利用する。
- SOFCでは、最低発電量はゼロと想定し、余剰電力は生じない運転を行う。

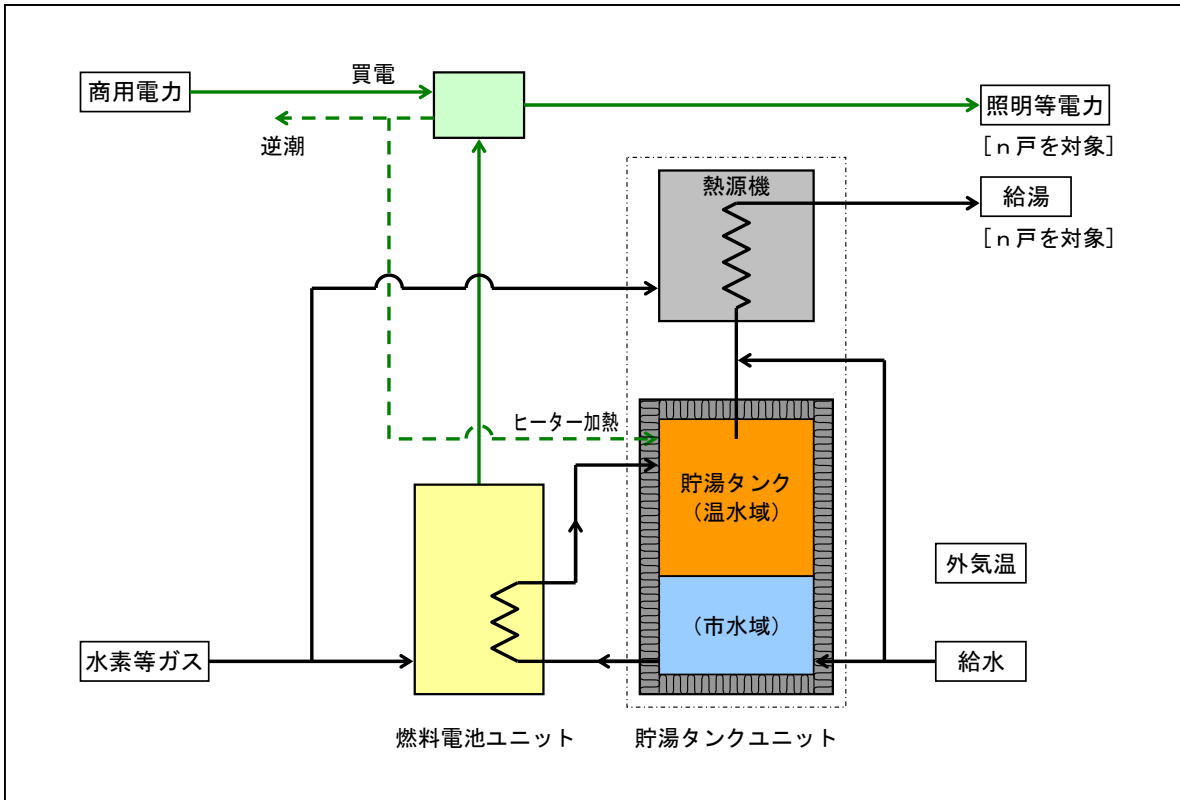


図 4.40 検討対象の燃料電池システムフロー

表 4.38 燃料電池システムの機器仕様例

項目	PEFC (固体高分子形燃料電池)	SOFC (固体酸化物形燃料電池)
使用燃料	水素	水素
発電出力 (最高/最低)	1 kW/300W	700W/0
発電効率 (定格HHV)	40.6% (LHV 45.0%)	40.6% (LHV 45.0%)
排熱回収率 (定格HHV)	36.1% (LHV 40.0%)	31.6% (LHV 35.0%)
総合効率 (定格HHV)	76.7% (LHV 85.0%)	71.6% (LHV 80.0%)
起動停止時エネルギーロス	3,600kJ/回	0
ラジエータファン動力	なし	4 W
反応速度	± 1 W/sec	瞬時に追従
貯湯タンク容量	200L (430φ×1,400H)	70L (300φ×1,000H)
貯湯タンク断熱材	グラスウール厚さ 50mm (熱伝導率 0.049W/m・k)	グラスウール厚さ 40mm (熱伝導率 0.049W/m・k)
貯湯温度	60°C	75°C
補助熱源機効率 (HHV)	0.90	0.90

(b) 燃料電池・熱源システム計画データの入力

1) 一般計画条件

ここでは、燃料電池を設置する集合住宅の戸数と燃料電池計画戸数、配管長さ、燃料電池の種類などの一般的な計画条件を入力する。

1) 一般計画条件	集合住宅計画戸数	12	戸
	燃料電池計画戸数	2	戸/台
	配管長	1.5	m/戸
	燃料電池の種類	SOFC	
	計画地区	東京	

2) 外気温・給水・貯湯温度条件

ここでは、計画地区に対応する外気温度、給水温度、貯湯温度の条件を月別に入力する。

2) 温度条件	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
外気温度 (°C)	5.8	6.1	8.9	14.4	18.7	21.8	25.4	27.1	23.5	18.2	13.0	8.4
給水温度 (°C)	7.4	7.7	10.2	15.0	18.9	21.6	24.8	26.3	23.1	18.4	13.8	9.7
貯湯温度 (°C)	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0

3) システム運転条件

燃料電池システムの運転条件を入力するもので、PEFCの場合とSOFCの場合の運転方法を設定する。PEFCの場合には運転開始時刻または自動運転の指定を行う。

3) システム運転条件	PEFC: DSS運転	0	※ 該当する場合を1とする
	SOFC: 連続運転	1	
	運転開始時刻	0	
	運転終了時刻	24	
	貯湯タンク蓄熱量初期値	0	
	余剰電力処理	0	0: なし、1: 貯湯タンク加熱、2: 逆潮
	余剰排熱処理	1	0: なし、1: ラジエータ放熱

注) ここではシステム計画データの入力例として、地方都市モデルでFSを行ったSOFCによる検討時の入力データを示す。

4)燃料電池仕様

燃料電池仕様については、定格出力と最低出力、定格時発電効率・排熱回収率などの条件を入力する。

4) 燃料電池仕様	発電機定格出力 (W)	700	※SOFC
	発電機最低出力 (W)	0	
	定格時発電効率 (%)	40.6	HHV基準
	定格時排熱回収率 (%)	31.6	HHV基準
	起動停止時エネルギーロス	0	
	ラジエータファン動力 (W)	4	
	反応速度 (Wh/sec) : 増加時	0	※瞬時追従
	反応速度 (Wh/sec) : 減少時	0	※瞬時追従

5)燃料電池部分負荷特性

ここでは、運転時の発電効率と排熱回収率の部分負荷特性は、熱消費量比と排熱回収量比の直線回帰式により設定する。

$Y_1 = a_1 X + b_1$	ここで $Y_1 =$ 熱消費量比 (-)、 $X =$ 部分負荷率 (-) $a_1、b_1 =$ 燃料電池定数 ($a_1 = 0.7668, b_1 = 0.225$)
$Y_2 = a_2 X + b_2$	ここで $Y_2 =$ 排熱回収量比 (-)、 $X =$ 部分負荷率 (-) $a_2、b_2 =$ 燃料電池定数 ($a_2 = 0.7668, b_2 = 0.225$)

6)貯湯タンクその他の仕様

貯湯タンクについては、容量、寸法（内径・高さ）、断熱材条件を入力する。また、熱源機の運転平均効率の条件を入力する。配管については、口径、保温材の条件を入力する。

6) 貯湯タンク仕様	貯湯タンク容量 (L)	70	※SOFC
	貯湯タンク内径 (m)	0.3	
	貯湯タンク高さ (m)	1.0	
	断熱材厚さ (mm)	40	
	断熱材熱伝導率 (W/(m・k))	0.049	※グラスウール
7) 熱源機仕様	補助熱源機運転平均効率	0.9	
	従来型熱源機運転平均効率	0.75	
8) 配管仕様	配管口径 (A)	25	
	配管内径寸法 (mm)	25	
	配管外径寸法 (mm)	32	
	保温材厚さ (mm)	20	
	保温材熱伝導率 (W/(m・k))	0.049	※グラスウール

(c) 燃料電池による発電の計算ロジックの整理

1) 発電量と発電機燃料使用量の算定

燃料電池廻りの電力収支フローを図 4.41 に示す。

① 電力負荷量の算定

電力負荷量は、住戸電力需要量とラジエータファン電力量の合計値とする。

$$\circ \text{電力負荷量} = \text{住戸電力需要量} + \text{ラジエータファン電力量}$$

② 発電量の算定

発電量は、電力負荷量と最大発電出力を比較して設定する。

$$\circ \text{電力負荷量} > \text{最大発電出力の時は} \quad \text{発電量} = \text{最大発電出力}$$

$$\circ \text{電力負荷量} \leq \text{最大発電出力の時は} \quad \text{発電量} = \text{電力負荷量}$$

なお、起動時と停止時は「反応速度」の条件を考慮して、最大発電出力を再設定する。

また、PEFC の場合は、電力負荷量が最低発電出力よりも小さい時には、発電量は最低発電出力とする。

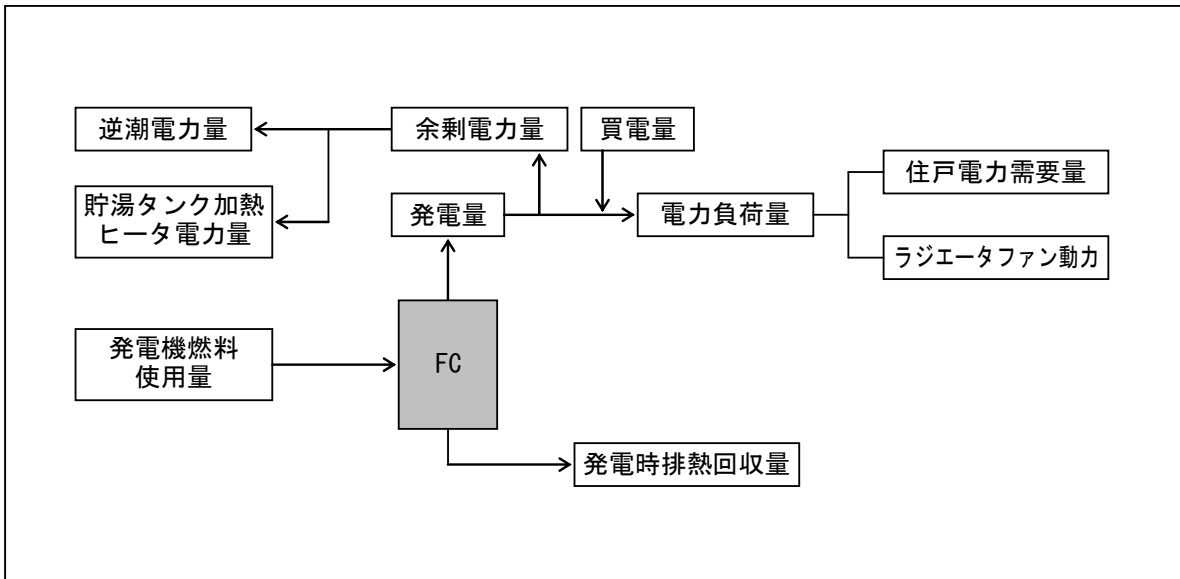


図 4.41 燃料電池廻りの電力収支フロー

③余剰電力量の算定

余剰電力量は SOFC の場合は生じないが、PEFC の場合は最低発電出力の条件があるため、次のように算定する。

- 電力負荷量 < 最低発電出力の時は

$$\text{余剰電力量} = \text{最低発電出力} - \text{電力負荷量}$$
- 電力負荷量 \geq 最低発電出力の時は

$$\text{余剰電力量} = 0$$

④買電量の算定

買電量は、電力負荷量と発電量に基づいて次のように算定する。

- 電力負荷量 \geq 最低発電出力の時は $\text{買電量} = \text{電力負荷量} - \text{発電量}$
- 電力負荷量 < 最低発電出力の時は $\text{買電量} = 0$

⑤貯湯タンク加熱ヒータ電力量の算定

貯湯タンク加熱ヒータ電力量は、逆潮の有無の条件で次のように設定する。

- PEFC の場合で、逆潮なしの条件の時は

$$\text{貯湯タンク加熱ヒータ電力量} = \text{余剰電力量}$$
- PEFC の場合で、逆潮ありの条件の時、または SOFC の時は

$$\text{貯湯タンク加熱ヒータ電力量} = 0$$

⑥逆潮電力量の算定

逆潮力量は、逆潮の有無の条件で次のように設定する。

- PEFCの場合で、逆潮ありの条件の時は

$$\text{逆潮電力量} = \text{余剰電力量}$$

- EFCの場合で、逆潮なしの条件の時、またはSOFCの時は

$$\text{逆潮電力量} = 0$$

⑦発電機燃料使用量の算定

発電機燃料使用量は、発電量に基づいて部分負荷時の発電効率と燃料高位発熱量により次のように算定する。

- 発電機負荷率(%) = 発電量 ÷ 定格時発電出力 × 100
- 発電機燃料使用量 = 発電量 ÷ (部分負荷時発電効率 × 0.01 × 燃料高位発熱量)

2)排熱利用量とタンク蓄熱量の算定

貯湯タンク廻りの熱収支フローを図 4.42 に示す。

①発電時排熱回収量の算定

発電時排熱回収量は、発電機燃料使用量と部分負荷時排熱回収率により次のように算定する。

- 発電時排熱回収量 = 発電機燃料使用量 × 燃料高位発熱量
× 部分負荷時排熱回収率

②給湯タンク放熱量の算定

給湯タンク放熱量は、タンク外表面積とタンク放熱係数、貯湯温度、外気温度などにより次のように算定する。

- タンク最大蓄熱量 = タンク容量(L) × 有効貯湯係数
× (月別貯湯温度 - 月別給水温度) × 4.186
- 運転時貯湯係数 = 前時刻蓄熱量 ÷ タンク最大蓄熱量
- 給湯タンク放熱量 = 貯湯タンク外表面積 × タンク放熱係数
× (月別貯湯温度 - 月別外気温度) × 運転時貯湯係数

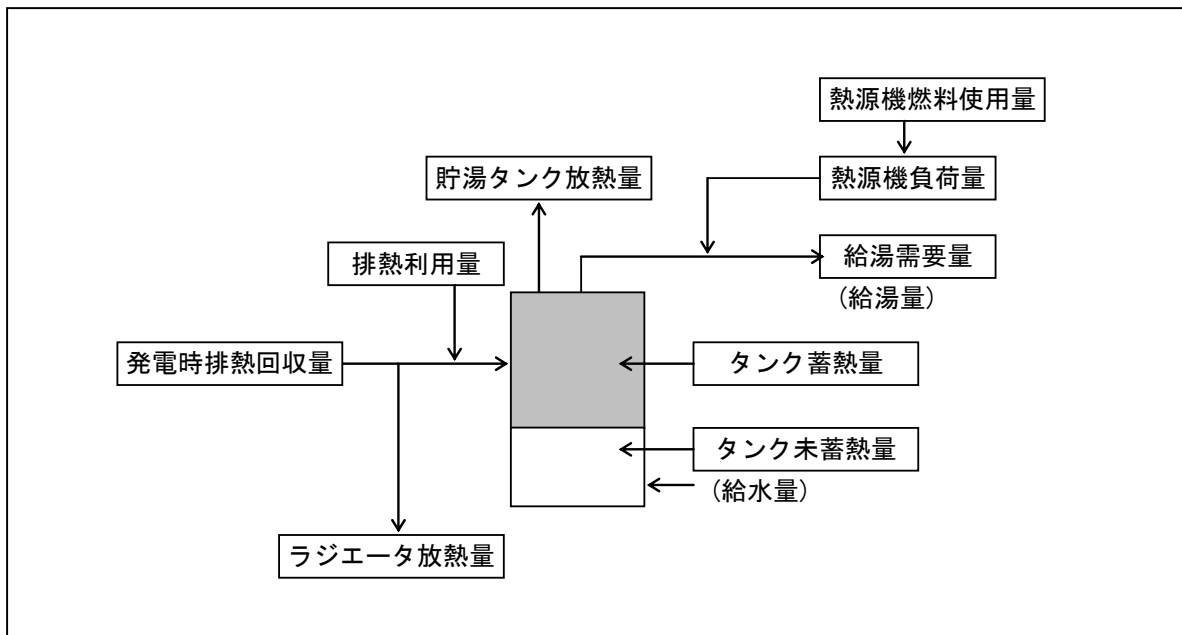


図 4.42 貯湯タンク廻りの熱収支フロー

③給湯負荷量の算定

- 給湯負荷量 = 住戸給湯需要量 + タンク放熱量

④排熱利用量の算定

排熱利用量は、給湯負荷量と発電時排熱回収量を比較して次のように算定する。

- 給湯負荷量 > 発電時排熱回収量の時は
排熱利用量 = 発電時排熱回収量
- 給湯負荷量 ≤ 発電時排熱回収量の時は
余剰分をタンク未蓄熱分に蓄熱する。

なお、タンク蓄熱量が満蓄（最大蓄熱量に達する）となったならば、PEFC の場合は運転を停止する。また、SOFC の場合はラジエータより余剰排熱を放熱する。

⑤排熱有効回収率の算定

排熱有効回収率は、排熱利用量と発電機燃料使用量により次のように算定する。また、合わせて総合効率も算定する。

- 排熱有効回収率 (%)
= 排熱利用量 ÷ (発電機燃料使用量 × 燃料高位発熱量) × 100
- 発電時総合効率 (%) = 発電時発電効率 + 排熱有効回収率

3)補助熱源機負荷量と燃料使用量の算定

①熱源機負荷量の算定

熱源機負荷量は給湯負荷が大きく、発電時排熱回収量や蓄熱量で賄えない場合に、不足分を算定する。

②熱源機燃料使用量の算定

熱源機燃料使用量は、熱源機負荷量と効率に基づいて次のように算定する。

$$\circ \text{熱源機燃料使用量} = \text{熱源機負荷量} \div (\text{熱源機効率} \times 0.01 \times \text{燃料高位発熱量})$$

4)計算結果の出力

①計算結果の出力項目

前記で整理した、住宅燃料電池・熱源システムのエネルギー消費量計算結果の出力項目をまとめて表 4.39 に示す。

表 4.39 燃料電池・熱源システムエネルギー消費量計算結果の出力項目

分 類	出力項目
1) 電力・給湯需要量	電力需要量 給湯需要量
2) 燃料電池発電量関連	電力負荷量 発電量 ラジエータファン電力量 余剰電力量 貯湯タンク加熱ヒータ電力量 逆潮電力量 買電量 発電機負荷率 発電時発電効率 発電時排熱回収率 発電機燃料使用量 全負荷相当運転時間
3) 燃料電池排熱量関連	発電時排熱回収量 タンク最大蓄熱量 給湯タンク放熱量 給湯負荷量 排熱利用量 排熱有効回収率 発電時総合効率 タンク蓄熱量 タンク未蓄熱量 余剰排熱量 ラジエータ放熱量 排熱利用率
4) 補助熱源機関連	熱源機負荷量 熱源機燃料使用量
5) その他	燃料使用量合計 発電寄与率 排熱寄与率

(8) 省エネ・CO₂削減効果計算

ここでは、エネルギー消費量の計算結果に基づいて、検討対象のエネルギー供給システムの省エネ・CO₂削減効果を計算する方法についてまとめる。

(a) 評価指標と検討対象範囲

各種のエネルギー供給システムの導入効果を評価する指標には、そのシステムの検討対象範囲により次の3通りが考えられる（空気調和・衛生工学会シンポジウム資料¹⁴⁾）。

1) コージェネレーションシステム（単体）

コージェネレーションシステムの運転により供給された自家発電力と排熱並びに発電機燃料使用量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- 省エネ効果 → 「一次エネルギー削減率（PES）」
- CO₂削減効果 → 「CO₂排出削減率」

2) コージェネ排熱活用熱源システム

コージェネ排熱とその排熱を活用する熱源システムの電力・燃料使用量並びに冷・温熱需要量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- システム性能（システムCOP） → 「総合エネルギー効率 η_t 」

3) 熱源・コージェネトータルシステム

コージェネレーションシステムと熱源システムを合わせた全体システムの電力・燃料使用量、買電量と電力・冷温熱需要量を評価対象範囲とするもので、評価指標は次の通り。

- 省エネ効果 → 「省エネルギー率（TER）」
- CO₂削減効果 → 「CO₂排出削減率」

コージェネレーションシステムの評価には1番目の指標が、地域熱供給システムの評価には2番目の指標がそれぞれ用いられる。地域のエネルギー効率を重視する本研究では、コージェネレーションシステムと熱源システムを合わせた全体システムを評価可能な3番目の指標を用いることとする。

(b) コージェネレーションシステム単体の省エネ・CO₂削減効果の計算方法

これは、コージェネレーションシステム単体による自家発電力と排熱の供給範囲で社会的効用を評価する考え方で、コージェネレーションシステム単体の一次エネルギー削減率とCO₂排出削減率は次のように計算する。

1) 一次エネルギー削減率 (PES)

$$PES = (1 - 1/(\alpha_e/\eta_e + \alpha_q/\eta_q)) \times 100(\%) \quad (4.134)$$

ここで α_e = CGS 有効発電効率 (HHV)

α_q = CGS 排熱有効回収率 (HHV)

η_e = 代替発電所の発電効率 (HHV)

η_q = 代替ボイラの熱効率 (HHV)

なお、 α_e' = CGS 有効発電効率 (LHV)

α_q' = CGS 排熱有効回収率 (LHV)

ε = 燃料 HHV/LHV 比

とすると

$\alpha_e = \alpha_e' / \varepsilon$

$\alpha_q = \alpha_q' / \varepsilon$

2) CO₂ 排出削減率

$$CO_2ES = (1 - 1/((\alpha_e/\eta_e) \times (\beta_e/\beta_{CGS}) + (\alpha_q/\eta_q) \times (\beta_q/\beta_{CGS}))) \times 100(\%) \quad (4.135)$$

ここで α_e 、 α_q 、 η_e 、 η_q は 前掲による。

β_e = 代替発電所の CO₂ 排出原単位

β_q = 代替ボイラの CO₂ 排出原単位

β_{CGS} = CGS 燃料の CO₂ 排出原単位

3) 熱供給システムの総合エネルギー効率

熱供給プラントのエネルギー特性を評価する際に、「冷温熱量（冷水・中温水・蒸気）」と「原・燃料使用量（燃料・電力・排熱）」の算定結果にもとづいて、熱供給システムのエネルギー利用効率を示す「総合エネルギー効率 η_t 」は次のように計算する。

$$\circ \text{ 総合エネルギー効率 } \eta_t = \text{冷温熱量合計 (GJ)} / \text{原・燃料一次エネルギー使用量 (GJ)}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、冷温熱量合計} &= \text{冷熱需要量} + \text{温熱需要量} \\ \text{原・燃料一次エネルギー使用量} &= \text{熱源プラント電力使用量} \times \text{電力一次エネルギー換算値} \\ &+ \text{熱源プラント燃料使用量} \times \text{燃料高位発熱量} \\ &+ \text{コージェネ排熱利用量} \times \text{排熱一次エネルギー換算値} \end{aligned}$$

一次エネルギー換算値については表 4.40 で定義した数値を用いる。ただし、コージェネ排熱の一次エネルギー換算値は、エネルギー消費量算定結果に基づきケース毎に設定する。算定式は次の通りである。

$$\circ \text{ 排熱一次エネルギー換算値(GJ/GJ)} = 1/(\alpha_e/\eta_e + \alpha_q/\eta_q) \quad (4.136)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \alpha_e &= \text{CGS 有効発電効率 (HHV)} \\ \alpha_q &= \text{CGS 排熱有効回収率 (HHV)} \\ \eta_e &= \text{代替発電所の発電効率 (HHV)} \\ \eta_q &= \text{代替ボイラの熱効率 (HHV)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{なお、} \alpha_{e'} &= \text{CGS 有効発電効率 (LHV)} \\ \alpha_{q'} &= \text{CGS 排熱有効回収率 (LHV)} \\ \varepsilon &= \text{燃料 HHV/LHV 比} \end{aligned}$$

とすると

$$\begin{aligned} \alpha_e &= \alpha_{e'} / \varepsilon \\ \alpha_q &= \alpha_{q'} / \varepsilon \end{aligned}$$

4) エネルギー供給システムの省エネ・CO₂削減評価方法

① 省エネルギー性の評価方法

エネルギー供給システムの省エネルギー性は、基準システム（コージェネなしの熱供給システム）と比較した省エネルギー量と省エネルギー率により評価を行うものとする。

なお、ここで評価の対象とするエネルギーは、建物の電力と熱製造にかかる電力や燃料などのエネルギー消費量とする。

[算定方法]

$$\begin{aligned} \text{○ 省エネルギー量} &= \text{比較基準システム年間一次エネルギー使用量} \\ &\quad - \text{エネルギー供給システム年間一次エネルギー使用量} \end{aligned} \quad (4.137)$$

$$\begin{aligned} \text{○ 省エネルギー率 (\%)} &= \text{省エネルギー量} \\ &\quad / \text{比較基準システム年間一次エネルギー使用量} \times 100 \end{aligned} \quad (4.138)$$

ただし エネルギー供給（基準）システム一次エネルギー使用量

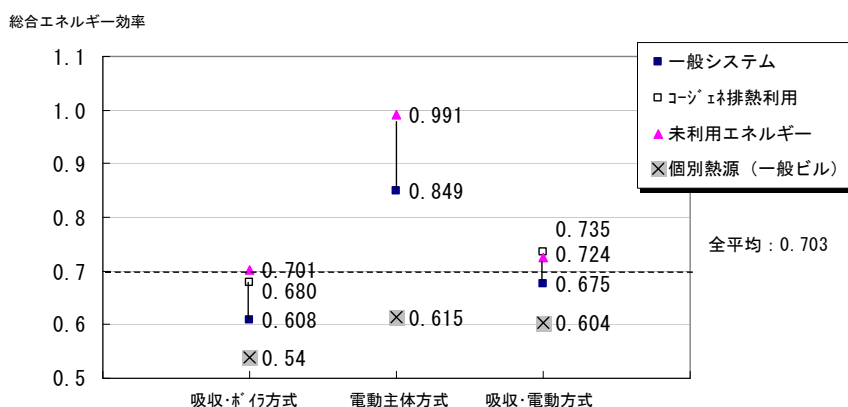
= {エネルギー供給（基準）システム年間電力使用量(買電量)} × 電力一次エネルギー換算値

+ {エネルギー供給（基準）システム年間燃料使用量} × 燃料高位発熱量

*1 一次エネルギー換算値については表 4.40 を参照。

*2 地域エネルギー供給の基準システムの一次エネルギー使用量は、個別熱源システム（電気・ガス併用方式）の総合エネルギー効率実績値（0.595：下記の参考資料を参照）から設定する。

地域熱供給システムと個別熱源システムの総合エネルギー効率の実績値について以下に示す。



注) 個別熱源の全平均: 0.595

参考図 地域熱供給システムと個別熱源システムの総合エネルギー効率比較¹⁵⁾

② CO₂削減効果の評価方法

エネルギー供給システムの CO₂削減効果は、基準システムと比較した CO₂の排出削減量と排出削減率を検討するものとする。

[算定方法]

$$\text{CO}_2\text{排出削減量} = \text{比較基準システム年間CO}_2\text{排出量} - \text{エネルギー供給システム年間CO}_2\text{排出量} \quad (4.139)$$

$$\text{CO}_2\text{排出削減率} = \text{CO}_2\text{排出削減量} / \text{比較基準システム年間CO}_2\text{排出量} \quad (4.140)$$

ただし エネルギー供給（基準）システム年間 CO₂ 排出量
 = {エネルギー供給（基準）システム年間電力使用量（買電量）} × 電力 CO₂ 排出原単位
 + エネルギー供給（基準）システム年間燃料使用量 × 燃料 CO₂ 排出原単位

*1 CO₂ 排出原単位については表 4.40 を参照。

表 4.40 一次エネルギー換算値、二酸化炭素排出係数

エネルギー種別	電力	都市ガス	水素
一次エネルギー換算値	9,760 kJ/kWh ^{*1}	45 MJ/Nm ³ *2	8 MJ/ Nm ³ *3
二酸化炭素排出係数	0.555 kg-CO ₂ /kWh ^{*4}	2.29 kg-CO ₂ /Nm ³ *5	0.066kg-CO ₂ /Nm ³ *6

表 4.40 における各数値の設定

*1 「省エネルギー法施行規則」（平成 18 年 4 月）による。

*2 都市ガス 13A 高位発熱量（東京ガス熱量変更後）

*3 水素の一次エネルギー換算値は、水素供給源の種類と供給量（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%）を仮定し、以下の原単位を使用して複合原単位を設定する。

- ・太陽光・風力発電から製造した水素：太陽光・風力発電電力の一次エネルギー量は「0」なので、「0」とする。→0 MJ/Nm³

- ・バイオマス（生ごみメタン発酵ガス）から製造した水素：水素 1 Nm³ を製造するのに必要なバイオマス（生ごみ）は 4.25kg（3,650t/年/858 千 Nm³/年）。

- ・従来の一次エネルギー消費量（清掃工場処理）：生ごみを従来の清掃工場で処理する場合（清掃工場の電力消費）

$$115\text{kWh/t (NEDO 廃棄物マニュアル)} \times 4.25\text{kg} / 1000 \times 9,760 = 4,770\text{KJ}$$

- ・バイオマス処理の一次エネルギー消費量：生ごみをメタン発酵処理してバイオガス化する場合（メタン発酵プラントの電力消費）

$$0.14\text{kWh/kg (NEDO バイオマスハンドブック)} \times 4.25\text{kg} \times 9,760 = 5,807\text{KJ}$$

- ・バイオマス由来の水素の一次エネルギー量：バイオマス処理時のエネルギー消費量 (5,807KJ) - 従来のエネルギー消費量 (4,770KJ) → 1.04MJ/ Nm³
- ・工場等の副生水素：工場からの副生水素は、ボイラ熱源や産業利用が可能であることから、水素が持つエネルギー量で評価する。→ 12.78 MJ/Nm³

*4 環境省資料（「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令の一部を改正する政令」（平成 18 年 3 月））による。

*5 *2 と同じ。

*6 水素の製造・輸送過程における二酸化炭素排出量を考慮して、水素供給源の種類と供給量により以下の原単位を使用して複合原単位を設定する。水素供給源の種類と供給量は、太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%と仮定する。

- ・太陽光・風力発電から製造した水素：太陽光・風力発電電力の一次エネルギー量は「0」なので、「0」とする。→ 0 kg-CO₂/ Nm³

- ・バイオマス（生ごみメタン発酵ガス）から製造した水素：水素 1 Nm³を製造するのに必要なバイオマス（生ごみ）は 4.25kg (3,650t/年/858 千 Nm³/年)。

→従来の CO₂ 排出量（清掃工場処理）：生ごみを従来の清掃工場で処理する場合（清掃工場の電力消費）→115kWh/t（NEDO 廃棄物マニュアル）× 4.25kg/1000×0.555=0.27 kg-CO₂

→バイオマス処理の CO₂ 排出量：生ごみをメタン発酵処理してバイオガス化する場合（メタン発酵プラントの電力消費）→0.14kWh/kg（NEDO バイオマスハンドブック）×4.25kg×0.555=0.33 kg-CO₂

→バイオマス由来の水素の CO₂ 排出量：バイオマス処理時の CO₂ 排出量 (0.33 kg-CO₂) - 従来の CO₂ 排出量 (0.27 kg-CO₂) → 0.06 kg-CO₂/Nm³

- ・工場等の副生水素：工場からの副生水素は、圧縮水素としてトレーラーにより輸送。トレーラーあたりの輸送量は 3,100Sm³ (=2,747Nm³)、輸送距離 150km、トレーラーの燃費 2km/l として算定。

150km/2 km/l×2.624 kg-CO₂/l/2,747 Nm³→0.07 kg-CO₂/Nm³

(9) 経済性計算

ここでは、地域エネルギー供給システムの経済性は、地域全体の電力と熱（冷温水・蒸気）にかかる年間経費を算定し、その比較により評価する。

年間経費は、建設費に対して資本回収係数を乗じて得られる設備固定費と運転費合計より求める。

$$\circ \text{年間経費} = \text{設備固定費} + \text{運転費合計}$$

$$\text{ここで 設備固定費} = \text{建設費} \times \text{資本回収係数}$$

$$\begin{aligned} \text{運転費合計} &= \text{電力費} + \text{燃料費} + \text{上下水道料金} + \text{託送料金} \\ &+ \text{修繕費等} + \text{人件費} + \text{賃借費} \end{aligned}$$

なお、建設費は地域冷暖房システム建設費や個別建物熱源設備、建物側省エネ費用、燃料電池・電力供給設備、水素供給施設、バイオマス水素供給施設、太陽光・風力発電設備などに区分して計上する。

以下に、これらの建設費並びに年間経費の算定方法を整理する。

(a) 地域冷暖房システム建設費の算定

地域冷暖房プラント設備は「熱源設備」、「配管設備」、「電気設備」、「中央監視計装設備」並びに「付帯設備」から構成されるものとし、以下に各設備費の算定ロジックをまとめる。

1) 熱源設備

① 冷熱源機器

冷熱源機器は、蒸気吸収冷凍機、電動ターボ冷凍機、単効用吸収冷凍機並びに冷却塔の主機容量にコスト原単位を乗じて求め、補機ポンプ類については主機コストに一定の割合を乗じて求める。

$$\begin{aligned} \circ \text{蒸気吸収冷凍機コスト} &= \text{蒸気吸収冷凍機容量(RT)} \\ &\times \text{DARコスト原単位(千円/RT)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{電動ターボ冷凍機コスト} &= \text{電動ターボ冷凍機容量(RT)} \\ &\times \text{ETRコスト原単位(千円/RT)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \text{単効用吸収冷凍機コスト} &= \text{単効用吸収冷凍機容量(RT)} \\ &\times \text{ARコスト原単位(千円/RT)} \end{aligned}$$

$$\circ \text{冷却塔コスト} = \text{冷却塔容量(RT)} \times \text{CTコスト原単位(千円/RT)}$$

$$\circ \text{補機ポンプコスト} = (i + ii + iii + iv) \times \text{冷熱源補機コスト割合}$$

$$\text{ここで 冷却塔容量(RT)} * 1 = \text{蒸気吸収冷凍機容量(RT)}$$

+電動ターボ冷凍機容量(RT)×0.7

*1 蒸気吸収冷凍機換算容量を設定する。

冷熱源補機コスト割合=0.2 (デフォルト値)

∴冷熱源機器コスト= i + ii + iii + iv + v

②温熱源機器

温熱源機器は、主機の蒸気ボイラ容量と蒸気中温水熱交換器容量にコスト原単位を乗じて求め、補機ポンプ類は主機コストに一定の割合を乗じて求める。

○ 蒸気ボイラコスト=蒸気ボイラ容量(t/h)×STBコスト原単位(千円/(t/h))

○ 蒸気中温水熱交換器コスト=蒸気中温水熱交換器容量(GJ/h)
×HEXコスト原単位(千円/(GJ/h))

○ 補機ポンプコスト=(i + ii)×温熱源補機コスト割合

ここで 温熱源補機コスト割合=0.4 (デフォルト値)

∴温熱源機器コスト= i + ii + iii

2)熱源設備費

○ 熱源設備費=冷熱源機器コスト+温熱源機器コスト

3)配管設備費

○ 配管設備費=熱源設備コスト×配管コスト割合

ここで、配管コスト割合=0.5 (デフォルト値)

4)電気設備費

○ 電気設備費=最大需要電力(kW)×電気設備コスト原単位(千円/kW)

5)中央監視計装設備費

○ 中央監視計装設備費=(熱源設備コスト+配管設備コスト+電気設備コスト)
×中央監視計装コスト割合

ここで、中央監視計装コスト割合=0.2 (デフォルト値)

6)付帯設備費

○ 付帯設備費=プラント面積(m²)×付帯設備コスト原単位(千円/m²)

7) プラント設備建設費

- プラント設備建設費＝熱源設備費＋配管設備費＋電気設備費
＋中央監視計装設備費＋付帯設備費

8) 地域導管建設費の算定

地域導管建設費は「導管工事費」と「土木工事費」に区分して計上する。

① 導管工事費

導管工事費は、導管種別に計画したルート長と口径別選定結果に基づいて、導管重量と導管コスト原単位より算定する。

- 冷水導管工事費＝冷水導管重量(t)×冷水導管コスト原単位(千円/t)
- 中温水導管工事費＝中温水導管重量(t)×中温水導管コスト原単位(千円/t)
- 蒸気・還水導管工事費＝蒸気・還水導管重量(t)
×蒸気・還水導管コスト原単位(千円/t)

② 土木工事費

土木工事費は、導管種別に計画したルート長と口径別選定結果に基づいて、掘削土量と土量コスト原単位より算定する。

- 冷水管土木工事費＝冷水管掘削土量(m³)×土量コスト原単位(千円/m³)
- 中水管土木工事費＝中水管掘削土量(m³)×土量コスト原単位(千円/m³)
- 蒸気・還水管土木工事費＝蒸気・還水管掘削土量(m³)
×土量コスト原単位(千円/m³)

③ 地域導管建設費

- 地域導管建設費＝導管工事費＋土木工事費

9) 受入設備費の算定

受入設備費は、建物（熱需要家）側の冷房最大需要量(RT)に受入設備コスト原単位を乗じて算定する。なお、このコスト原単位には温熱分も含んだものとしている。

- 建物側受入設備費＝建物側冷房最大需要量(RT)受入
×設備コスト原単位(千円/RT)

∴ 受入設備費＝Σ 建物別受入設備費

(b) 個別建物熱源設備その他の建設費の算定

1) 個別建物熱源設備建設費の算定

個別建物熱源設備の建設費は、「地域冷暖房プラント設備」の建設費の算定方法に準拠する。

$$\begin{aligned} \text{個別建物熱源設備建設費} &= \text{熱源設備費} + \text{配管設備費} + \text{電気設備費} \\ &\quad + \text{中央監視計装設備費} + \text{付帯設備費} \end{aligned}$$

なお、電気設備費、中央監視計装設備費、付帯設備費は熱源設備に関わる部分の費用を計上する。

2) 集合住宅熱源設備建設費の算定

集合住宅熱源設備の建設費は、基準となる個別熱供給設備との比較が可能な設備項目を計上する。

$$\begin{aligned} \text{集合住宅熱源設備建設費} &= \text{集中熱供給設備費}(\text{熱源} \cdot \text{熱量計} \cdot \text{シャフトユニット} \cdot \text{住棟内配管}) \\ &\quad + \text{住棟内ガス配管設備費} + \text{住戸内熱源機器費} + \text{コージェネ設備費} \\ &\quad + \text{受電設備増分費} + \text{各戸電力メーター増分費} \end{aligned}$$

3) 建物側省エネコスト増加費の算定

建物側で省エネ対策を講じた場合のコスト増加費は、省エネ対策毎の費用を計上する。

$$\begin{aligned} \text{建物側省エネコスト増加費} &= \text{CO}_2\text{制御} \cdot \text{外気冷房費用} + \text{ペアガラス} \cdot \text{断熱強化費用} \\ &\quad + \text{照明負荷削減費用} + \text{太陽光発電導入費用} + \text{昇降機省エネ費用} \\ &\quad + \text{コンセント負荷削減費用} + \text{熱搬送電力負荷削減費用} \\ &\quad + \text{換気動力負荷削減費用} \end{aligned}$$

4) 燃料電池・電力供給設備建設費の算定

燃料電池・電力供給設備の建設費は、燃料電池設備費や受変電設備費、自営線設備費、付帯設備費などを計上する。

$$\begin{aligned} \text{燃料電池・電力供給設備建設費} &= \text{燃料電池設備費} + \text{受変電設備費} + \text{自営線設備費} + \text{付帯設備費} \end{aligned}$$

5)水素供給設備建設費の算定

水素供給設備の建設費は、燃料改質設備費や水電気分解設備費、水素配管設備費、付帯設備費などを計上する。

- 水素供給設備建設費

$$= \text{燃料改質設備費} + \text{水電気分解設備費} + \text{水素配管設備費} \\ + \text{付帯設備費}$$

6)バイオマス設備建設費の算定

バイオマス設備の建設費は、バイオマス設備と都市ガス導管注入設備などの建設費を計上する。

- バイオマス設備建設費 = バイオマス設備費 + 都市ガス導管注入設備費

7)太陽光・風力発電建設費の算定

- 太陽光・風力発電建設費 = 太陽光発電設備費 + 風力発電設備費

(c)年間経費の算定

1)固定費の算定

ここでいう「固定費」とは「設備固定費」のことを示すものとし、独立したプラント建屋に係る固定費は想定しない。なお、プラントスペースの費用は「賃借費」として扱う。

固定費を求める算定は資本回収係数法によるものとし、算定式を以下に示す。

- 固定費(千円/年) = 地域冷暖房設備投資額(千円) × 資本回収係数

ここで 地域冷暖房設備投資額(千円)

$$= \text{地域冷暖房システム建設費(千円)} - \text{補助金(千円)}$$

$$\text{資本回収係数} : k = r / (1 - (1 + r) \cdot n)$$

なお、デフォルト値として金利 : $r = 0.04$ 、償却年数 : $n = 15$ 年を設定すると

$$\therefore k = 0.08994 \text{ (デフォルト値)}$$

2)電力費の算定

電力費は、年間電力消費量に電力平均単価を乗じて求める。

- 電力費(千円/年) = 年間電力消費量(MWh/年) × 電力平均単価(円/kWh)

注) ここでは 年間電力消費量 = 年間電力購入量とする。

また、電力単価を「建物系統電力単価」と「住宅電力単価」並びに

「地域冷暖房プラント電力単価」に区分して計上する。

3)燃料費の算定

燃料費は、年間燃料消費量に燃料平均単価を乗じて求める。

○ 燃料費(千円/年) = 年間燃料消費量(千Nm³/年) × 燃料平均単価(円/ Nm³)

注) ここでは燃料単価を「大口契約都市ガス単価」と「住宅都市ガス単価」並びに「水素単価」に区分して計上する。

4)上水道料金の算定

上水道料金は、上水消費量と下水排出量に、それぞれの上水単価、下水単価を乗じて求める。

○ 上水料金(千円/年) = 上水消費量(千m³/年) × 上水単価(円/m³)

○ 下水料金(千円/年) = 下水排出量(千m³/年) × 下水単価(円/m³)

○ 上水道料金 = 上水料金 + 下水料金

5)託送費の算定

託送費は、遠隔地に設置した太陽光発電や風力発電からの電力量を商用電力の送電線を利用する際に発生する費用で、託送電力量に電力託送単価を乗じて求める。

○ 託送費(千円/年) = 託送電力量(MWh/年) × 電力託送単価(円/kWh)

6)修繕費等の算定

修繕費等は、地域冷暖房システム建設費に修繕費等率を乗じて求める。

○ 修繕費等(千円/年) = 地域冷暖房システム建設費(千円) × 修繕費等率

ここで 修繕費等率 = 0.035 (デフォルト値)

また、設備修繕費と燃料電池メンテナンス費並びにバイオガス都市ガス注入発熱調整費に区分して計上する。

7)人件費の算定

人件費は、プラントの管理・運転人員数に人件費平均単価を乗じて求める。

○ 人件費(千円/年) = 管理運転人員数(人) × 人件費平均単価(千円/年・人)

注) ここでは、地域冷暖房プラント等(個別熱源プラント)と燃料電池・バイオマスプラント等の人件費に区分して計上する。

8) 賃借費の算定

賃借費は、プラント面積と冷却塔面積より、それぞれ賃借単価を乗じて求める。

○ 賃借費(千円/年)

$$\begin{aligned} &= \text{プラント面積(m}^2\text{)} \times \text{プラント賃借単価(千円/m}^2\cdot\text{月)} \times 12(\text{ヶ月/年}) \\ &+ \text{冷却塔面積(m}^2\text{)} \times \text{冷却塔賃借単価(千円/m}^2\cdot\text{月)} \times 12(\text{ヶ月/年}) \end{aligned}$$

注) ここでは、地域冷暖房プラント等(個別熱源プラント)と燃料電池・バイオマスプラント等の賃借費に区分して計上する。

9) 運転費合計の算定

運転費合計は、上記の 2) ～8) を合計して求める。

○ 運転費合計 = 電力費 + 燃料費 + 上水道料金 + 修繕費等 + 人件費 + 賃借費

10) 年間経費合計の算定

年間経費合計は、上記の 1) 固定費と 9) 運転費合計を加えて求める。

11) 年間経費増減額の算定

年間経費増減額は、検討ケースの年間経費合計より基準ケースの年間経費合計を差し引いて求める。

○ 年間経費増減額 = 検討ケースの年間経費合計 - 基準ケースの年間経費合計

12) 年間経費率の算定

年間経費率は、検討ケースの年間経費合計を基準ケースの年間経費合計で除して求める。

○ 年間経費率(%)

$$= (\text{検討ケースの年間経費合計} \div \text{基準ケースの年間経費合計}) \times 100$$

13) CO₂削減にかかる t-CO₂あたりコストの算定

CO₂削減にかかる t-CO₂あたりコストは、検討ケースの年間経費増減額を年間 CO₂削減量で除して求める。

○ CO₂削減にかかる t-CO₂あたりコスト(円/t-CO₂)

$$\begin{aligned} &= \text{検討ケースの年間経費増減額(千円/年)} \\ &\div \text{年間CO}_2\text{削減量(t-CO}_2\text{/年)} \times 1,000 \end{aligned}$$

経済性計算の書式例を表4.41に示す。

表 4.41 経済性計算の書式例

項目	基準ケースT01 (個別)	ケースT11 従来型DHC+SOFC200kW +建物側SOFC244.2kW 水素供給	備考
(1) 建設費			
①個別建物熱源設備 (千円)	1,649,320	7,320	
②従来型地域冷暖房 (地域導管含) (千円)		2,964,000	
③建物側省エネ費用 (千円)		0	
④高効率型地域冷暖房 (地域導管含) (千円)		0	
⑤燃料電池・電力供給設備 (千円)		179,360	燃料電池単価 400千円/kW
⑥水素供給施設 (水素配管含) (千円)		174,880	
⑦バイオマス水素供給施設 (千円)		130,000	
⑧太陽光発電設備 (千円)		15,000	
□ 建設費計 (千円)	1,649,320	3,470,560	
(2) 年間経費			
①設備固定費 (千円/年)	149,100	312,670	投資資本回収係数:0.08994
■ 設備固定費計 (千円/年)	149,100	312,670	
(3) 電力費			
①建物系統電力費 (千円/年)	544,272	397,152	電力単価 16円/kWh
②住宅電力費 (千円/年)	1,231	458	電力単価 24円/kWh
③地域冷暖房プラント電力費 (千円/年)	0	17,693	電力単価 13円/kWh
■ 電力費計 (千円/年)	545,503	415,303	
(4) 燃料費			
①大口契約都市ガス料金 (千円/年)	65,300	102,850	都市ガス単価 50円/m3
②住宅都市ガス料金 (千円/年)	385	220	都市ガス単価 110円/m3
③水素料金 (千円/年)	0	52,320	水素単価 40円/m3
■ 燃料料金計 (千円/年)	65,685	155,390	
(5) 上下水道料金			
①上水料金 (千円/年)	32,000	32,000	上水料金 400円/m3
②下水料金 (千円/年)	9,100	9,100	下水料金 350円/m3
■ 上下水道料金計 (千円/年)	41,100	41,100	
(6) 託送料金			
①電力託送料金 (太陽光発電) (千円/年)	0	0	電力託送料金 2.5円/kWh
②バイオマスガス託送料金 (千円/年)	0	0	バイオガス託送料金 2.5円/m
■ 託送料金計 (千円/年)	0	0	
(7) 修繕費・ランニングコスト			
①設備修繕維持費 (千円/年)	57,730	121,470	建設費の3.5%想定
②燃料電池メンテナンス費 (千円/年)	0	8,010	発電量あたり2.5円/kWh
③バイオガス都市ガス注入発熱調整費 (千円/年)	0	0	LPG使用量 千m3/年
■ 修繕費・ランニングコスト計 (千円/年)	57,730	129,480	
(8) 人件費			
①地域冷暖房プラント・建物施設人件! (千円/年)	198,000	78,000	人件費 6000千円/人・年
②燃料電池・バイオマスプラント人件! (千円/年)	0	30,000	人件費 6000千円/人・年
■ 人件費計 (千円/年)	198,000	108,000	
(9) 賃借費			
①地域冷暖房プラント等 (千円/年)	98,800	68,000	
②燃料電池・バイオマスプラント等 (千円/年)	0	9,700	
■ 賃借費計 (千円/年)	98,800	77,700	
■ 地域年間経費合計 (千円/年)	1,155,918	1,239,643	
■ 地域年間経費増減額 (千円/年)	-	83,725	
■ 地域エネルギー年間経費率<基準T01を100> (%)	100	107	
(参考) CO2削減にかかるt-CO2あたりコスト			
ケースT01<基準ケース>との比較 (円/t-CO2)	-	25,772	
<試算条件>			
CO2排出量 (t-CO2/年)	21,906	18,658	
CO2削減量 (t-CO2/年)	-	3,248.7	
CO2削減効果 (%)		14.8	

(d) コスト原単位の参考データ

ここでは、前記で整理した各種設備の建設費を計上するのに必要なコスト原単位の参考データを、表 4.42～表 4.48 にまとめて整理する。

表 4.42 地域冷暖房システム建設費関連コスト原単位例

項目	コスト原単位	
1. プラント建設費		
(1) 熱源設備		
1) 冷熱源機器		
①蒸気吸収冷凍機	70	千円/RT
②電動ターボ冷凍機	70	千円/RT
③単効用吸収冷凍機	90	千円/RT
④冷却塔	40	千円/RT
⑤補機ポンプ		
小計		
2) 温熱源機器		
①蒸気ボイラ	8,000	千円/(t/h)
②蒸気中温水熱交換器	700	千円/(GJ/h)
③補機ポンプ		
小計		
3) 熱源設備費計		
(2) 配管設備		
(3) 電気設備	100	千円/kW
(1) + (2) + (3) 計		
(4) 中央監視計装設備費		
(5) 付帯設備費	120	千円/m ²
(6) プラント設備建設費合計	426	千円/RT
2. 地域導管建設費		
(1) 導管工事費		
1) 冷水導管	3,600	千円/t
2) 中温水導管	3,600	千円/t
3) 蒸気・還水導管	4,000	千円/t
計		
(2) 土木工事費		
1) 冷水導管	30	千円/m ³
2) 中温水導管	30	千円/m ³
3) 蒸気・還水導管	30	千円/m ³
計		
(3) 地域導管建設費合計	187	千円/RT
3. 受入設備費		
受入設備費合計	18	千円/RT
総合計	631	千円/RT

表 4.43 個別建物熱源設備建設費関連コスト原単位例

項 目	コスト原単位	
1. プラント建設費		
(1) 熱源設備		
1) 冷温熱源機器		
①直焚吸収冷温水機	80	千円/RT
②冷却塔	40	千円/RT
③補機ポンプ		
小計		
2) 熱源設備費計		
(2) 配管設備		
(3) 電気設備	40	千円/kW
(1) + (2) + (3) 計		
(4) 中央監視計装設備費		
(5) 付帯設備費	120	千円/m ²
(6) プラント設備建設費合計	322	千円/RT
総合計	322	千円/RT

※高圧受変電レベル

表 4.44 集合住宅熱源設備関連コスト原単位例

項 目	備 考		
	コスト原単位		償却年数(年)
建設費 (千円)	集中熱供給		
	熱源設備	460 千円/戸	15
	熱量計	40 千円/戸	8
	シャフトユニット	520 千円/戸	10
	住棟内配管	400 千円/戸	15
	小計		
	住棟内ガス配管	240 千円/戸	15
	住戸内熱源機	370 千円/戸	6
	コージェネ設備	300 千円/kW	15
	受電設備増分	60 千円/kVA	15
	各戸電力メーター増分	20 千円/戸	10
	計		
	補助金		
	合計		

表 4.45 建物側省エネによるコスト増加費関連コスト原単位例

項目	コスト原単位		備考
1. 空調負荷の削減			
(1) CO2制御、外気冷房	2.5	千円/m ²	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(2) 断熱強化	5.3	千円/m ²	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(3) 照明負荷削減	0.6	千円/m ²	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
2. 電力負荷の削減			
(4) 太陽光発電の導入	0.4	千円/m ²	※80万円/kW
(5) 昇降機の省エネ	0.2	千円/m ²	
(6) 照明負荷削減	(3)に含む	千円/m ²	
(7) コンセント負荷削減		千円/m ²	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(8) 熱搬送電力負荷の削減	1.6	千円/m ²	※既設建築物の省エネ改修検討 報告書より
(9) 換気動力負荷の削減	0.2	千円/m ²	
総合計	11.0	千円/m ²	

表 4.46 燃料電池・電力供給設備建設費関連コスト原単位例

項目		
(1) 燃料電池・電力供給設備建設費		
(1) 燃料電池設備費	300	千円/kW
(2) 受変電設備費	100	千円/kW
(3) 自営線設備費	280	千円/m
(4) 付帯設備費	120	
合計		

表 4.47 水素供給設備建設費関連コスト原単位例

項目		
(1) 水素供給設備建設費		
(1) 燃料改質設備費	400	千円/(m ³ N/h)
(2) 水電気分解設備費	400	千円/(m ³ N/h)
(3) 水素配管建設費		千円/m
(4) 付帯設備費	120	
合計		

表 4.48 その他建設費関連コスト原単位例

項 目			備 考
(1) バイオマス設備建設費			※バイオマスエネルギー導入ハンドブックNEDOより ※現状不明
(1) バイオマス設備建設費	13,000	千円/t	
(2) 都市ガス導管注入設備費		千円/kW	
合 計			
(2) 太陽光発電建設費			
(1) 太陽光発電設備費	500	千円/kW	
合 計			

4.3.4 街区モデルシミュレーション（水素導入シナリオ）

本節においては、水素導入シナリオと環境経済性の関係を明らかにすることを目的として、本プロジェクトにて開発したプログラムを用い、街区レベルで水素ネットワークを活用したコジェネシステム（燃料電池）を導入することにより、都市地域のエネルギー消費量について検討を行う。

(1) 街区選定

検討にあたっては、容積率の異なる代表的な都内街区を対象に検討を行うこととする。以下に検討対象とした街区モデルを示す。

街区モデル1：低容積地区（練馬区西：住宅中心）

（図 4.43、表 4.49）

街区モデル2：中容積地区（九段南・三番町：小・中規模ビル＋住宅混在地域）

（図 4.44、表 4.50）

街区モデル3：高容積地区（西池袋：中・大規模ビル中心、地域熱供給の導入地区）

（図 4.45、表 4.51）

表 4.52 にシミュレーションケースを一覧する。まず、上記の街区モデル1～3において家庭用および業務用の双方の燃料電池が市場に普及する 2030 年を想定した燃料電池・水素価格を前提条件として実施した（ケース1～8）。それに加え、家庭用の燃料電池に関しては既に市場投入されているため、現在（2012年）から 2030 年に至る燃料電池・水素価格の低減シナリオによる効果を評価した（ケース9～11）。

燃料電池・水素価格のシナリオを表 4.53、図 4.46 に示す。シナリオ前提条件を以下に示す。

- ・ 2015 年までの発電効率は同レベル、コスト低減優先
- ・ 水素供給コストは各家庭までの水素インフラを含むコストと仮定

また、将来的な燃料電池の性能（定格発電効率）、システム価格および水素供給価格は NEDO「燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」に基づくものとする。

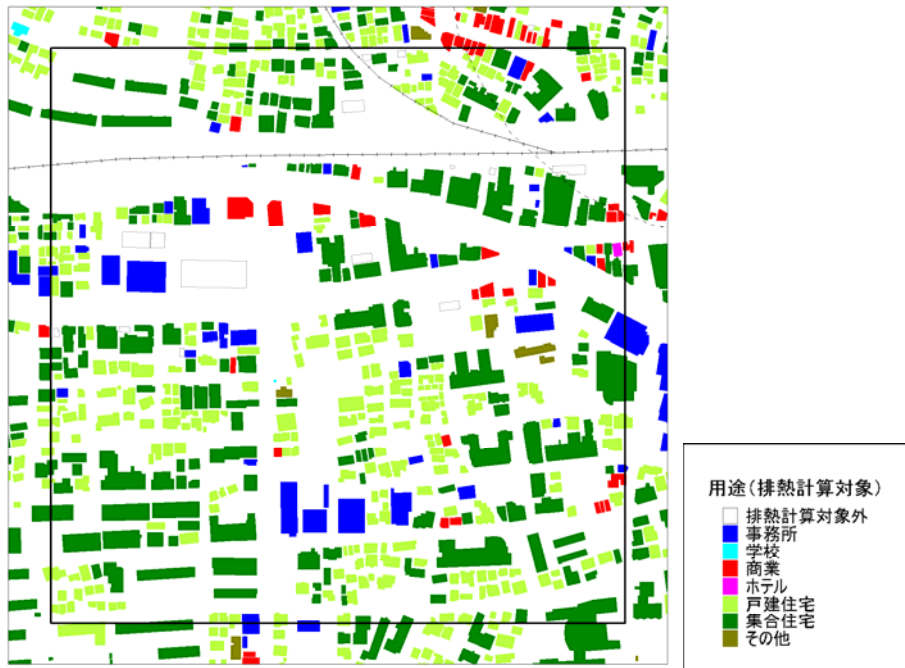


図 4.43 街区モデル 1 (低容積地区：練馬区西：住宅中心)

表 4.49 街区モデル 1 の用途別床面積割合 (低容積地区：練馬区西：住宅中心)

総延床面積 m ²	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約35万	7	0	2	0	14	76	1

※ 街区全体の約 90%が住宅（戸別、集合）であるため、ここでは建物用途として住宅のみを評価の対象とした。

※ 戸別住宅約 300 戸、集合住宅 26 万 m² (一戸当たり 70m²として 約 3,700 戸分)

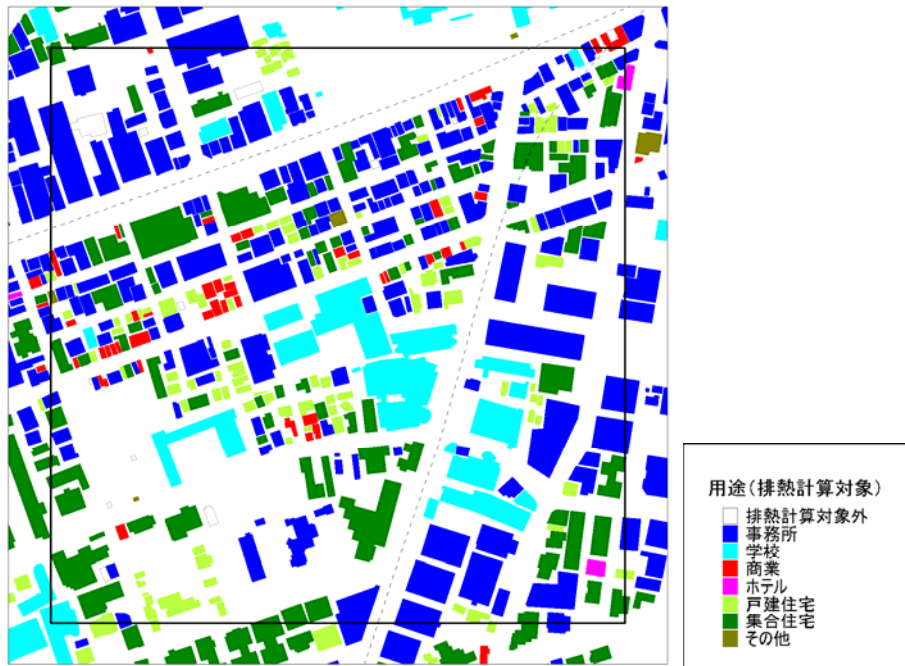


図 4.44 街区モデル 2 (九段南・三番町：小・中規模ビル+住宅混在地域)

表 4.50 街区モデル 2 の用途別床面積割合 (九段南・三番町：小・中規模ビル+住宅)

総延床面積 m ²	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約73万	51	14	1	0	3	30	0

※ 熱需要の低い「事務所」・「学校」が全体の 2/3、熱需要の高い「住宅」が全体の 1/3 の構成とした。

※ 戸別住宅約 100 戸、集合住宅 22 万 m² (一戸当たり 70 m² として 約 3,200 戸分)

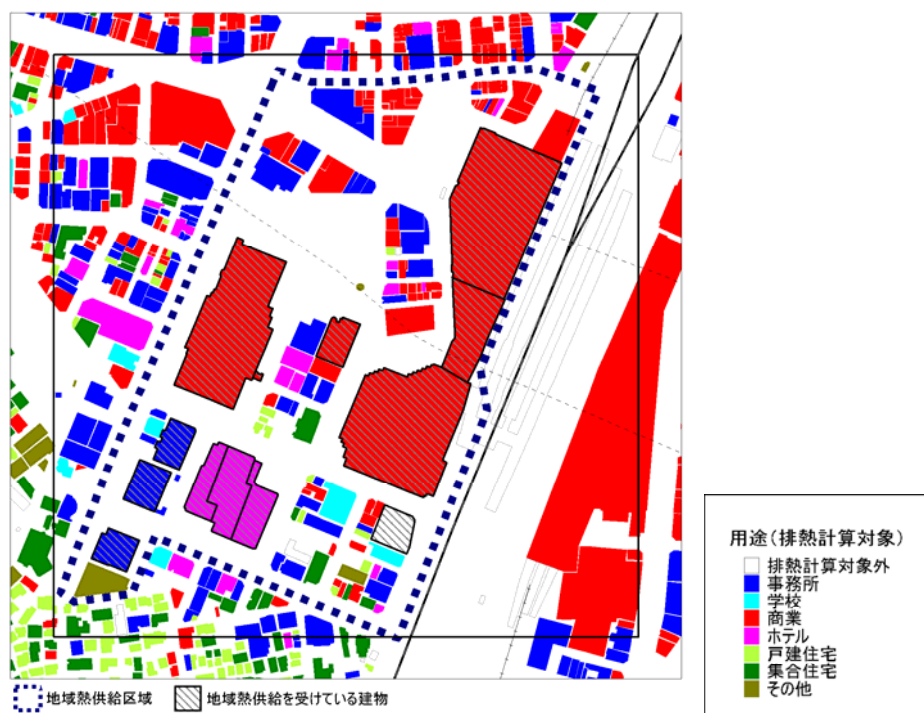


図 4.45 街区モデル3（西池袋：中・大規模ビル中心、地域熱供給の導入地区）

表 4.51 街区モデル3の用途別床面積割合（西池袋：中・大規模ビル中心）

総延床面積 m ²	事務所%	学校%	商業%	ホテル%	戸建住宅%	集合住宅%	その他%
約103万	17	1	67	12	0	2	1
約84.6万	7.8	0.6	80.4	11.2	0	0	0

※ 街区全体のうち、表の下段に示す延床面積 5,000m²以上の建物（地域冷暖房システムに加入の可能性がある中大規模建物）をシミュレーション対象とした。

表 4.52 街区モデルのシミュレーションケース一覧

ケース スタディ	No.	容積率	対象街区	地冷	FC(コージェネシステム)	FC・水素価格想定年※
第 1	1	200%程度 (低容積地区)	練馬区役所西 (モデル1)	無	無	—
	2			無	有(純水素型)	2030
	3	400%程度 (中容積地区)	九段南・三番町 (モデル2)	無	無	—
	4			無	有(純水素型)	2030
	5	700%程度 (高容積地区)	西池袋 (モデル3)	無	無	—
	6			有	無	—
	7			無	有(純水素型)	2030
	8			有	有(純水素型)	2030
第 2	9	200%程度 (低容積地区)	練馬区役所西 (モデル1)	無	有(純水素型)	2012(現在)
	10			無	有(純水素型)	2015
	11			無	有(純水素型)	2020

表 4.53 現在から将来にかけて燃料電池・水素価格のシナリオ

項 目	2012	2015	2020	2030
燃料電池価格 [万円/kW]	270	100	50	40
定格発電効率(LHV) [%]	36	36	40	50
水素供給コスト [円/Nm ³]	120	90	60	40

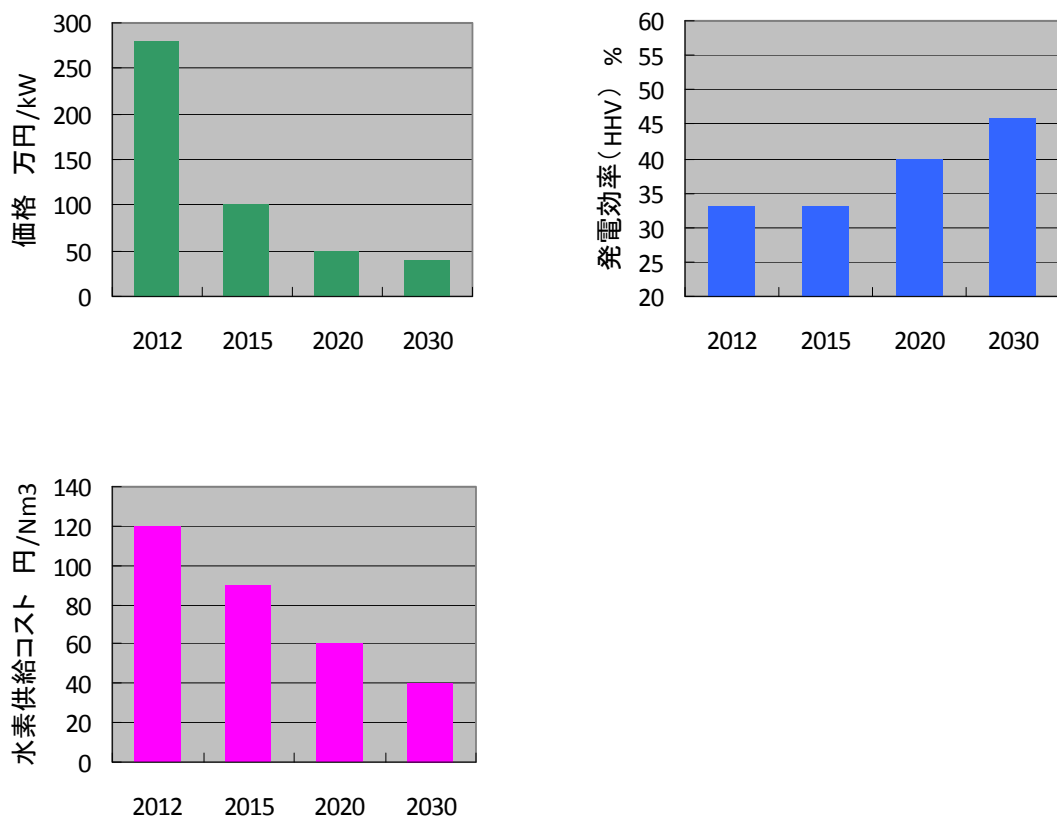


図 4.46 現在から将来にかけて燃料電池・水素価格のシナリオ

第1スタディとして、表 4.53、図 4.46 に示すように、2012 年から 2030 年にかけて燃料電池・水素価格の大幅なコストダウンが行われた場合（燃料電池の費用：1kW あたり 40 千円/kW、水素のコスト：40 円/Nm³）を想定し、各地区の CO₂削減コストを算出した結果を(2)~(4)に述べる。

(2) 低容積地区（街区モデル1）におけるシミュレーション条件と結果

(a) シミュレーション条件

低容積地区における主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 対象の仮定
 - 練馬市役所西地区の集合住宅を含む住宅（約 4,000 戸相当）のうち、N=100 戸分を対象として評価
- 燃料電池システム仕様
 - 純水素型 PEFC、定格発電容量は 750W で固定
- 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収効率 45%LHV）
- 電力・給湯需要原単位、需要変動データ
 - IBEC データ（23 種類）の平均熱電比は約 0.83（4.2.1 参照）であるが、ここでは熱電比が小さいとされる集合住宅を多く含むため、対象サイトの平均熱電比が 0.7 となるように、各住宅に需要データを設定
- 一次エネルギー・CO₂排出量原単位
 - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/Nm³、水素 8MJ/Nm³
 - 電気 0.555kg-CO₂/kWh、都市ガス 2.29kg-CO₂/Nm³、水素 0.066kg-CO₂/Nm³（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 経費
 - 設備導入費：燃料電池システム 40 万円/kW、ガス給湯機 30 万円
 - 維持費・メンテナンス：設備導入費の 3.5%、メンテナンス費：2.5 円/kWh
 - 燃料料金：電気 24 円/kWh、都市ガス 110 円/Nm³、水素 40 円/Nm³

(b) 冷熱源機器のシステム構成

低容積地区は住宅地なのでエアコンによる空調が主になる。

<冷熱需要>

- ・ 家庭用エアコン

<温熱需要>

- ・ 家庭用エアコン

(c) シミュレーション結果

表 4.54 に低容積地区におけるシミュレーション結果を示す。FC 導入前と水素利用型都市における燃料電池導入後の年間 1 次エネルギー消費量の比較を行うと、住宅 1 戸あたり 58,830MJ に対して、燃料電池導入後においては 38,636MJ と 34.3%のエネルギー削減率が期待できる結果となった。また CO₂削減量に関しては、3.23t-CO₂が 1.02 t-CO₂となり、2.21 t-CO₂の削減量となり、68.4%の削減効果が期待できる結果となった。

経済性に着目すると、1 戸当たりの年間平均コストが 189.7 千円から 187.9 千円と同等のコストとなり、CO₂削減コストとしては-0.8 千円/t-CO₂と逆にコストが低減する結果となった。

表 4.54 シミュレーション結果：低容積地区

評価項目	FC無	FC(2030)
エネルギー評価(1戸当たり平均)		
1次エネルギー使用量 [MJ]	58,830	38,636
1次エネルギー削減量 [MJ] /削減率[%]	—	19,694 34.3
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	3.23	1.02
CO ₂ 削減量 [tCO ₂] /削減率 [%]	—	2.21 68.4
経済性評価(1戸当たり平均、千円)		
建設費(初期投資)	300.0	300.0
投資償却費	27.0	27.0
電気・都市ガス・水素料金	153.2	141.4
維持費・メンテナンス	10.5	19.5
年間費用	189.7	187.9
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	-0.8

(3) 中容積地区におけるシミュレーション条件と結果

(a) シミュレーション条件

中容積地区における主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 燃料電池システム仕様（純水素 SOFC）
 - 定格発電容量（電力最大需要の 40%）
 - 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収率 30%LHV）
- 冷熱源機器システム構成
 - 建物別の床面積、用途別の電力・熱最大需要データから決定
 - 平均負荷率 80%
- エネルギー需要原単位、需要変動データ
 - 各用途別（事務所、商業、ホテルの 3 パターン）の IBEC データを適用
 - 学校は事務所と同じ原単位データを仮定
- 一次エネルギー・CO₂ 排出量原単位
 - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/Nm³、水素 8MJ/ Nm³
- 電気 0.555kg-CO₂/kWh、都市ガス 2.29kg-CO₂/ Nm³、水素 0.066kg-CO₂/ Nm³（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 建設費（初期投資）
 - コージェネシステム（FC）原単位：200 千円/kW
 - 冷熱源機器原単位：70 千円/RT（各冷熱源機器で同価格）
 - 蒸気ボイラ原単位：800 千円/ (t/h)
 - 配管設備原単位：2 千円/m²、電気設備原単位：40 千円/kW
- 投資償却費
 - 建設費合計に対し、15 年、年率 4.0%で年間経費を産出
- 電気・ガス料金
 - 電気：16 円/kWh、都市ガス 50 円/Nm³、水素 40 円/Nm³
- 維持費、メンテナンス
 - 設備維持費原単位：建設費の 3.5%、FC メンテナンス費：2.5 円/kWh
- 人件費
 - 冷熱源機器システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 2 名）
 - FC システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 1 名）

なお、燃料電池システムについては純水素型 SOFC を仮定した。純水素型燃料電池とし

ではPEFCが想定されるが、以下の理由により、純水素をSOFCに投入した場合でもPEFCと同等の発電効率になると考えた。

現在の都市ガス改質型のSOFCがPEFCより発電効率が約10%程度高いのは、メタンの水蒸気改質反応が吸熱反応であり、燃料電池反応の排熱をこれに有効利用できるためである。豪州 Ceramic Fuel Cells 社製の BlueGen (<http://www.bluegen.info/>) のSOFCは発電効率で60%を達成しており、燃料電池単体として燃料として純水素とメタンガスのどちらを燃料として供給しても発電性能はほとんど変わらないため、将来的には純水素型SOFCとして発電効率50%を達成できる可能性は十分であり、純水素型PEFCと同レベルであるとされている(千歳(三菱マテリアル)ら:「純水素とメタンガスを燃料とする低温作動ディスク型SOFCのシミュレーション」第3回新エネルギー技術シンポジウム、2008)。

(b) 冷熱源機器のシステム構成

冷熱源機器のシステム構成は次のように決定した。まず、燃料電池システムが無い場合は以下の冷熱源機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 蒸気ボイラ (STB)

冷熱機器容量は最大冷房需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \times \text{延床面積 } \text{m}^2 \times \text{熱需要係数 } (=1.2)$ として冷水需要を計算し、表 4.55 のように、床面積に応じて各機器の容量を決定した。

表 4.55 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合

延床面積 m ²	EHP	GR	DAR	ETR
～1000	100%	0%	0%	0%
1000～2000	100%	0%	0%	0%
2000～5000	75%	25%	0%	0%
5000～10000	50%	50%	0%	0%
10000～20000	25%	50%	25%	0%
20000～40000	0%	25%	50%	25%
40000～	0%	0%	50%	50%
COP(定格)	4.0	1.2	1.4	6.0

温熱機器容量は（最大暖房需要 kJ/(m²・h)+最大給湯需要 kJ/(m²・h)）×延床面積 m²×熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。冷温水機器（EHP、GR）が存在する場合、これらの機器で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率と蒸気負荷分担率は、全体の熱需要に対する冷温水機器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

次に、燃料電池システムに SOFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 二重効用蒸気吸収型冷凍機（DAR）
- 電動ターボ冷凍機（ETR）

<温熱需要>

- 蒸気ボイラ（STB）

燃料電池からの蒸気排熱を利用するため、吸収型冷凍機として二重効用蒸気吸収型冷凍機を適用し、冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は（最大暖房需要 kJ/(m²・h)+最大給湯需要 kJ/(m²・h)）×延床面積 m²×熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの蒸気排熱で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率は 0.0、蒸気負荷分担率 1.0 とした。

(c) シミュレーション結果

表 4.56 に中容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を示す。FC 導入前と水素利用型都市における燃料電池導入後の年間の 1 次エネルギー消費量の比較を行うと、626,057GJ に対して、燃料電池導入後においては 461,280GJ と 26.2%のエネルギー削減率が期待できる結果となった。また CO₂ 削減量に関しては、35,316t-CO₂ が 17,054t-CO₂ となり、16,115 t-CO₂ の削減量となり、51.7%の削減効果が期待できる結果となった。

住宅地においては 1 次エネルギー削減量として 34.3%、CO₂ 削減量として 68.4%であり、中容積地区においてはそれぞれ低下する結果となった。これは、本検討対象の地域では給湯需要の小さい業務施設（学校を含む）が多いため、この影響が結果に反映しているものと考えられる。

経済性に着目すると、地区全体の年間コストが 4,147 百万円から 4,737 百万円と増大し、CO₂ 削減コストとしては約 32 千円/t-CO₂ となった。低容積地区と同様に燃料電池の建設コスト、水素のコストは同等としているが、業務施設（学校を含む）においては給湯需要が少ないため、エネルギー削減率が住宅地に比べて小さく、CO₂ 削減コストが高くなる傾向にあることが分かる。

表 4.56 シミュレーション結果：中容積地区

評価項目	FC無	FC(2030)
1次エネルギー使用量 [GJ]	626,057	461,820
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	129,461 26.2
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	35,316	17,054
CO ₂ 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	16,115 51.7
建設費(初期投資)	2,562,520	4,703,880
投資償却費	230,473	423,067
電気・都市ガス・水素料金	1,001,203	1,303,354
維持費・メンテナンス	89,688	184,661
人件費	2,826,000	2,826,000
年間費用	4,147,365	4,737,081
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	32.3

(4) 高容積地区におけるシミュレーション条件と結果

(a) シミュレーション条件

今回検討対象とした高容積地区においては地域熱供給システムが導入されている地域である。図 4.47 に検討対象地域における地域熱供給システムの概要を示す。

実際の熱供給システムが導入されている建物は 11 棟、総床面積 55 万 m^2 であるが、本検討においては、この地域における床面積 5,000 m^2 以上の建物が導入されていると仮定し、地域熱供給システム地域における水素導入効果について検討を行った。またシミュレーションにあたっては、地冷が導入されていない条件で、FC の導入の有無、地冷が導入されている条件で、FC 導入の有無の 4 ケース実施した。

表 4.57 に実際の地域熱供給システムの条件とシミュレーション条件を示す。



図 4.47 検討対象地域における地域熱供給システムの概要図

表 4.57 実際の地域熱供給システムの条件とシミュレーション条件

項目	現物	シミュレーション
供給延床面積 [万 m^2]	55.1	84.6
対象建物数	11	22
主要熱源機器		
・温熱(蒸気ボイラ) [t/h]	51.0	90.2
・冷熱(吸収式冷凍機) [RT]	9,000	15,460
・冷熱(ターボ冷凍機) [RT]	8,350	15,460
地域導管		
・管路延長 [m]	3,719	
・最大口径	冷水700A、蒸気300A	

その他の主な条件を以下に示す。

- 燃料電池システム仕様（個別・地冷、純水素型 SOFC あるいは PEFC）
 - 定格発電容量（電力最大需要の 40%）
 - 定格時の効率（発電効率 50%LHV、熱回収率 30%LHV）
- 冷熱源機器システム構成（個別・地冷）
 - 建物別の床面積、用途別の電力・熱最大需要データから決定
 - 個別の場合は冷熱源機器の平均負荷率を 80%と設定（地冷の場合は 100%）
- エネルギー需要原単位、需要変動データ（個別・地冷）
 - 各用途別（事務所、商業、ホテルの 3 パターン）の IBEC データを適用
 - 学校は事務所と同じ原単位データを仮定
- 一次エネルギー・CO₂ 排出量原単位
 - 電気 9,760kJ/kWh、都市ガス 45MJ/ Nm³、水素 8MJ/ Nm³
- 電気 0.555kg-CO₂/kWh、都市ガス 2.29kg-CO₂/ Nm³、水素 0.066kg-CO₂ Nm³（太陽光 0.3%、バイオマス 40%、副生水素 59.7%由来、原単位の設定は表 4.40 を参照）
- 建設費（初期投資）
 - コージェネシステム（FC）原単位：200 千円/kW（2030 年を想定）
 - 冷熱源機器原単位：70 千円/RT（各冷熱源機器で同価格）
 - 蒸気ボイラ原単位：800 千円/（t/h）
 - 配管設備原単位：2 千円/m²（個別）
 - 電気設備原単位：40 千円/kW（個別）、100 千円/kW（地冷）
 - 地域導管建設費（地冷）原単位：3,600 千円/t（冷水導管工事費、700A）、4,000 千円（蒸気導管、300A）、30 千円/m²（土木工事費）
- 投資償却費
 - 建設費合計に対し、15 年、年率 4.0%で年間経費を産出
- 電気・ガス料金
 - 電気：16 円/kWh、都市ガス 50 円/Nm³、水素 40 円/Nm³
- 維持費、メンテナンス
 - 設備維持費原単位：建設費の 3.5%、FC メンテナンス費：2.5 円/kWh
- 人件費
 - 冷熱源機器システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 2 名）
 - FC システム管理 6,000 千円/人（システム毎に 1 名）

(b) 冷熱源機器のシステム構成

冷熱源機器のシステム構成は次のように決定した。まず、燃料電池システムが無い場合は、中容積地区シミュレーションと同様に、以下の冷熱源機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 電動ヒートポンプ (EHP)
- 直焚吸収冷温水機 (GR)
- 蒸気ボイラ (STB)

また、冷熱機器容量は最大冷房需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \times$ 延床面積 $\text{m}^2 \times$ 熱需要係数 (=1.2) として冷水需要を計算し、表 4.58 のように、床面積に応じて各機器の容量を決定した。

表 4.58 床面積と冷水・冷温水機器の容量割合

延床面積 m^2	EHP	GR	DAR	ETR
~1000	100%	0%	0%	0%
1000~2000	100%	0%	0%	0%
2000~5000	75%	25%	0%	0%
5000~10000	50%	50%	0%	0%
10000~20000	25%	50%	25%	0%
20000~40000	0%	25%	50%	25%
40000~	0%	0%	50%	50%
COP(定格)	4.0	1.2	1.4	6.0

温熱機器容量は (最大暖房需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) +$ 最大給湯需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) \times 延床面積 $\text{m}^2 \times$ 熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。冷温水機器 (EHP、GR) が存在する場合、これらの機器で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率と蒸気負荷分担率は、全体の熱需要に対する冷温水機器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

次に、燃料電池システムに SOFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 二重効用蒸気吸収型冷凍機 (DAR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 蒸気ボイラ (STB)

燃料電池からの蒸気排熱を利用するため、吸収型冷凍機として二重効用蒸気吸収型冷凍機を適用し、冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は (最大暖房需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ + 最大給湯需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) \times 延床面積 m^2 \times 熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの蒸気排熱で熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。また、温水負荷分担率は 0.0、蒸気負荷分担率 1.0 とした。

一方、燃料電池システムに PEFC を導入した場合、以下の機器からシステムを構成した。

<冷熱需要>

- 単効用蒸気吸収型冷凍機 (AR)
- 電動ターボ冷凍機 (ETR)

<温熱需要>

- 排熱温水熱交換器 (WEX)
- 蒸気ボイラ (STB)

燃料電池からの温水排熱を利用するため、吸収型冷凍機として単効用蒸気吸収型冷凍機を適用する。この冷凍機の COP は 0.7 であり、二重効用蒸気吸収型冷凍機の 1/2 と効率が低い。冷熱需要が不足する分は、電動ターボ冷凍機で不足分を補う。

温熱機器容量は (最大暖房需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ + 最大給湯需要 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) \times 延床面積 m^2 \times 熱需要係数 (=1.2) として熱需要を計算する。燃料電池からの温水排熱が熱需要を満たすかどうかを判定し、熱需要が不足する場合は、蒸気ボイラで不足分を補う。全体の熱需要に対する排熱温水熱交換器の容量、蒸気ボイラの容量から計算した。

(c) シミュレーション結果

表 4.59 に燃料電池として純水素型 SOFC を導入した場合の高容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を示す。

まずは地冷の導入の有無により効果を比較すると、1 次エネルギー削減率、CO₂ 削減率とも 4%程度となり、地冷の導入によるスケールメリットが得られる結果となった。これは、個別の場合は各建物に設置した冷熱源機器の平均負荷率が 80%であることが要因の 1 つであると考えられる。個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1 次エネルギー削減率 25%、CO₂ 削減率で 46%、地冷導入では、1 次エネルギー削減率 27%、CO₂ 削減率で 48%となり、地冷と燃料電池導入によるエネルギーおよび CO₂ 削減率は最大となった。

次にコスト削減効果について確認を行った。燃料電池を考慮しない場合の個別建物と地冷を考慮した場合の年間コストの比較を行うと、CO₂ 削減量は 4%程度と小さいが、経済性効果が見込められる結果となった。また、FC 導入時における結果を見ると、個別建物条件においては CO₂ 削減コストが約 28 千円であるのに対して、地冷を考慮した場合には、19 千円と個別建物熱源条件と地冷条件では約 9 千円の経済性効果が見込める結果となった。

表 4.59 シミュレーション結果：高容積地区（SOFC 導入）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
エネルギー評価				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,568,018	2,002,154	1,525,177
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	523,132 25.0	88,996 4.3	565,973 27.1
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	118,049	63,886	112,914	61,964
CO ₂ 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	54,163 45.9	5,135 4.3	56,085 47.5
経済性評価（千円）				
建設費(初期投資)	6,003,790	11,891,290	7,286,611	14,503,611
投資償却費	539,981	1,069,503	655,358	1,304,455
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	4,059,381	3,199,310	3,686,579
維持費・メンテナンス	210,133	478,095	255,031	569,551
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	6,002,979	4,127,699	5,578,585
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	27.7	0	19.2

次に、燃料電池として純水素型 PEFC を導入した場合の高容積地区モデルにおけるシミュレーション結果を表 4.60 に示す。

個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1 次エネルギー削減率 14%、CO₂ 削減率で 31%、地冷導入では、1 次エネルギー削減率 16%、CO₂ 削減率で 34%となった。これは SOFC を導入した場合と比べて 1 次エネルギー削減率で 10%、CO₂ 削減率で 15%程度低い結果となった。これは、冷熱需要のための冷凍機が低温水を利用する単効用吸収型で COP が SOFC の場合の二重効用吸収型と比べて COP が 0.7 と低く、低温排熱の 30%を捨てているためである。

次にコスト削減効果について確認を行った。FC 導入時における結果を見ると、個別建物条件においては CO₂ 削減コストが約 36 千円であるのに対して、地冷を考慮した場合には、28 千円と個別建物熱源条件と地冷条件では約 8 千円の経済性効果が見込められる結果となっているが、SOFC を導入した場合と比べて CO₂ 削減コストが高くなっていることがわかる。

表 4.60 シミュレーション結果：高容積地区（PEFC 導入）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
エネルギー評価				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,792,273	2,002,154	1,751,736
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	298,877 14.3	88,996 4.3	339,414 16.2
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	118,049	81,140	112,914	78,055
CO ₂ 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	36,909 31.3	5,135 4.3	39,994 33.9
経済性評価（千円）				
建設費(初期投資)	6,003,790	11,876,186	7,286,611	13,590,327
投資償却費	539,981	1,068,144	655,358	1,222,314
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	3,886,704	3,199,310	3,839,797
維持費・メンテナンス	210,133	477,566	255,031	537,586
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	5,828,415	4,127,699	5,617,697
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	35.9	(-73.0)	27.9

上記の結果を鑑み、PEFC の導入容量を抑えて低温排熱量を減らすことで、CO₂ 削減コストがどの程度減少するかを検討した。表 4.61 に定格発電容量を電力最大需要 30%に抑えた場合のシミュレーション結果を示す。

個別の場合、地冷導入の場合のそれぞれのケースで燃料電池導入効果について確認すると、個別の場合は、1 次エネルギー削減率 12%、CO₂ 削減率で 26%、地冷導入では、1 次

エネルギー削減率 15%、CO₂削減率で 29%となった。これは PEFC を最大電力需要の 40% と場合と比べてさらに低い削減率であるが、PEFC の導入コストが減少したことで、燃料として水素の消費量が低減したことで年間費用が下がり、CO₂削減コストは SOFC のレベルを達成することが分かった。

表 4.61 シミュレーション結果：大容積地区（PEFC 導入：容量抑制）

評価項目	個別・FC無	個別・FC有	地冷・FC無	地冷・FC有
エネルギー評価				
1次エネルギー使用量 [GJ]	2,091,150	1,839,473	2,002,154	1,780,688
1次エネルギー削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	251,677 12.0	88,996 4.3	310,462 14.8
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	118,049	87,738	112,914	84,154
CO ₂ 削減量 [GJ] /削減率 [%]	—	30,311 25.7	5,135 4.3	33,895 28.7
経済性評価（千円）				
建設費(初期投資)	6,003,790	10,452,088	7,286,611	11,791,468
投資償却費	539,981	940,061	655,358	1,060,525
電気・都市ガス・水素料金	3,356,286	3,619,148	3,199,310	3,578,913
維持費・メンテナンス	210,133	412,323	255,031	459,151
人件費	396,000	396,000	18,000	18,000
年間費用	4,502,400	5,367,532	4,127,699	5,116,589
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	28.5	(-73.0)	18.1

第2スタディとして、表 4.48、図 4.46 に示すように、2012 年から 2030 年にいたる燃料電池・水素価格の低減シナリオによる、低容積地区の CO₂削減コストを算出した結果を(5)に述べる。

(5) 低容積地区における年別価格想定シミュレーション

(a) シミュレーション条件

第2スタディとして、現在から 2030 年に至る燃料電池・水素価格のシナリオの評価を実施する。低容積地区を解析対象とする。

主なシミュレーション条件を以下に示す。

- 対象の仮定
 - 練馬市役所西地区の集合住宅を含む住宅（約 4,700 戸相当）のうち、N=100 戸分を対象として評価
- 燃料電池システム仕様
 - 純水素型 PEFC、定格発電容量は 750W で固定
 - 定格時の効率（発電効率：下表、熱回収率 45%LHV）
- 電力・給湯需要原単位、需要変動データ
 - 対象サイトの平均熱電比が 0.7 となるように、各住宅に需要データを設定
- 経費
 - 設備導入費（燃料電池システム：下表、ガス給湯機 30 万円）
 - 維持費・メンテナンス（設備導入費の 3.5%、メンテナンス費：2.5 円/kWh）
 - 燃料料金（電気 24 円/kWh、都市ガス 110 円/Nm³、水素：下表）

(b) シミュレーション結果

表 4.62 および図 4.48 に低容積地区モデルにおける価格変動シミュレーション結果を示す。

CO₂削減率に着目すると、現状の2012年においても各建物に純水素が導入されると68%程度の効果が期待できる結果となった。また2030年までに徐々にCO₂削減率が高くなり最終的に68.4%の削減効果が期待できる結果となった。また、CO₂削減コストに着目すると、現状の2012年では約240千円/t-CO₂の削減コストが、NEDOのロードマップ2010年での想定価格とした場合には、2015年で約110千円/t-CO₂、2020年で約37千円/t-CO₂、2030年には現在のガス給湯器とほぼ同等のコストとなる結果となった。

表 4.62 価格変動シミュレーション結果（低容積地区）

評価項目	FC無	FC(2012)	FC(2015)	FC(2020)	FC(2030)
エネルギー評価(1戸当たり平均)					
1次エネルギー使用量 [MJ]	58,830	43,878	43,878	41,371	38,636
1次エネルギー削減量 [MJ] /削減率[%]	—	14,452 25.4	14,452 25.4	16,959 29.7	19,694 34.3
CO ₂ 排出量 [tCO ₂]	3.23	1.10	1.10	1.06	1.02
CO ₂ 削減量 [tCO ₂] /削減率 [%]	—	2.12 65.8	2.12 65.8	2.17 67.1	2.21 68.4
経済性評価(1戸当たり平均、千円)					
建設費(初期投資)	300.0	2025.0	750.0	375.0	300.0
投資償却費	27.0	182.1	67.5	33.8	27.0
電気・都市ガス・水素料金	153.2	425.6	329.0	214.4	141.4
維持費・メンテナンス	10.5	79.5	34.9	21.9	19.5
年間費用	189.7	687.2	431.4	270.1	187.9
CO ₂ 削減コスト[千円/tCO ₂]	—	234.7	114.0	37.1	-0.8

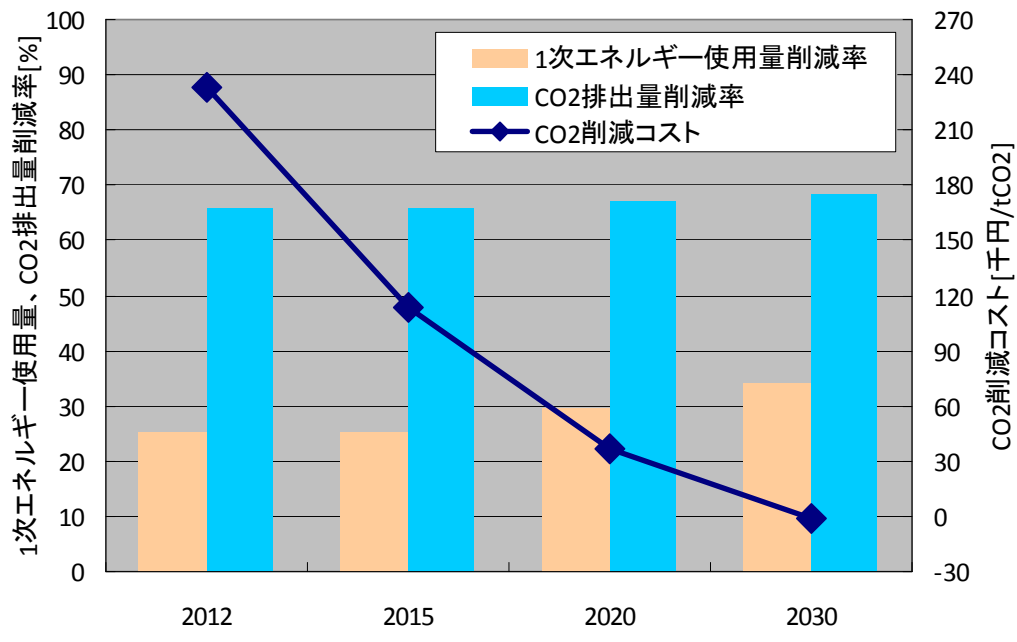


図 4. 48 価格変動シミュレーション結果グラフ

(6) 考察

本シミュレーションにおいては、住宅中心の低容積地区、業務施設（学校を含む）中心の中容積地区、商業施設や宿泊施設が中心で、かつ地域熱供給システムが導入されている高容積地区の3地区に対して、水素・燃料電池が導入されることによる都市エネルギーシステムへの影響についてシミュレーションを実施した。また、低容積地区については、燃料電池・水素価格の低減シナリオによる影響評価を実施した。

本シミュレーションより、以下の結果を得ることができた。

- ◆ 水素・燃料電池が導入されることによる都市エネルギーシステム効果
 - 容積率 200%程度を想定した住宅が中心の低容積地区においては、CO₂削減率 68%、CO₂削減コスト-0.8 千円/tCO₂（FC 導入による CO₂排出量とコスト双方を低減）が期待される結果となった。
 - 容積率 400%程度を想定した業務施設（学校を含む）中心の中容積地区においては、CO₂削減率 52%、CO₂削減コスト 32 千円/tCO₂と低容積地区に比べ効果が小さい結果となった。これは、熱需要が低い事務所の割合が高く、かつ各建物の延床面積も小さく熱供給が最適化されているためと考えられる。
 - 容積率 700%程度を想定した商業施設、宿泊施設が中心で、かつ地域熱供給システムが導入されている高容積地区では、FC が無い場合は、熱供給の分散・集中による CO₂削減の効果は 4%程度であり、熱供給の集中によるコスト削減の効果があった。純水素型 SOFC を導入した場合、CO₂削減率は 45%以上となり、地冷システムへの FC 導入によってコスト削減効果 20 千円/tCO₂未滿を達成した。一方、純水素型 PEFC を導入した場合、SOFC と同一の導入容量では排熱が余るために SOFC と比べて CO₂削減コストが高くなるが、導入容量を下げると CO₂削減率は低下するものの、SOFC と同様に、コスト削減効果 20 千円/tCO₂未滿を達成した。
- ◆ 燃料電池・水素価格の低減シナリオによる影響評価
 - 2020 年水準では CO₂削減コスト 20 千円/tCO₂に未達、2030 年の水準で-0.8 千円/tCO₂と大幅に削減コストが減少（FC 導入による CO₂排出量とコスト双方を低減）。
 - CO₂削減率には効果あり（65%以上）

4.4 まとめ

第4章では、都市エネルギーシステムの評価プログラムを作成し、様々な都市が最適解としての水素社会に段階的に移行する際の経済性、環境性について定量的に検討を行うことを目的として、地域エネルギー消費等実態調査、低炭素都市評価システムの開発、低炭素都市評価システムの活用について検討を行い、以下の結論を得た。

1) 既往調査（過去8調査）で行われた用途別建物の電力・冷房・給湯需要に関する床面積あたりの最大需要原単位と年間需要原単位ならびに月別・時刻別需要変動パターンを整理した。このデータベースは、都市CO₂計量評価モデルに実装されており、地域における年間のエネルギー消費量等の評価に利用できる。

2) 都内超高層住宅（414戸）を対象に、共用部用途別（電灯、空調機、エレベータ、給水ポンプ、駐車場排風機、動力）に電力計測を実施し、共用部電力量は1戸あたり2,925kWh/年・戸、共用部床面積あたり67.5kWh/年・m²であることを明らかにした。この調査結果は、共同住宅の省エネルギー基準策定の基礎資料として活用が期待される。

3) 将来的に水素エネルギーの生成源と目される太陽光、風力、バイオマスの自然エネルギー地域賦存量データベースを作成した。同データベースの検索シートはホームページに公開されており、一般の利用が可能である。

4) 街区の建物配置、土地利用、建材等の構成から、建物・地面間の多重放射、日陰を考慮し、各建物の年間空調負荷を予測する手法を開発した。流体連成解析も可能であり、緑空間の風通し、人工排熱等による街区の気温・空調負荷影響も検討することができる。

5) エネルギー源として、水素に加えて従来の化石燃料（都市ガス、石油等）、再生可能エネルギーを用い、コージェネレーション、蓄エネルギー（蓄水素・蓄熱・蓄電）、地域熱供給等の各種システム解析が経済性評価とあわせて実施可能なモデル開発を行った。

6) 都市域の水素導入シナリオを設定し、開発ツールを用いて水素導入の環境経済性を明らかにした。住宅地（練馬）への水素駆動燃料電池の導入により2030年時の条件設定において現在のガス給湯器とほぼ同等のコストで、7割弱のCO₂削減が可能であること、高密商業地（池袋）の場合、地域熱供給施設に水素駆動燃料電池を導入することにより、地域全体のCO₂削減コストは2万円弱/tCO₂におさまることを指摘した。