

中間期, 各期における月は前述と同じ) に運転方法, 時間を変更することが可能である。

Sheet6 では表 6 のように商用電力及び各燃料の 1 次エネルギー消費量, CO₂ 排出量を入力する。表 6 には文献値³⁾⁴⁾を記載しているが, 特に商用電力については, 火力発電の技術革新のため, 年度によって数値が変わる場合があるので注意が必要である。なお, 水素の 1 次エネルギー消費量については, 高位発熱量 12.76 [MJ/m³] を使用した。

表 6 商用電力及び各燃料の 1 次エネルギー消費量, 二酸化炭素排出量 (Sheet6)

	1 次エネルギー消費量	CO ₂ 排出量
商用電力	9.616 [MJ/kWh]	0.49 [kg-CO ₂ /kWh]
天然ガス	40.9 [MJ/m ³]	2.35 [kg-CO ₂ /m ³]
LP ガス	50.2 [MJ/kg]	3.03 [kg-CO ₂ /kg]
灯 油	36.7 [MJ/L]	2.51 [kg-CO ₂ /L]
水 素	12.76 [MJ/m ³]	0 [kg-CO ₂ /m ³]

2.3 解析方法

解析は表 7 のフローチャートのように月別エネルギー消費量及び時間別平均エネルギー消費割合から時間別エネルギー需要量を算出し, PEFC の運転条件に合わせて燃料電池燃料消費量, 商用電力売買電力量, 補助燃料消費量を算出する。

この際, 補助燃料消費量は貯湯槽内の垂直温度分布 (ここでは z 軸方向のみ考慮する) と密接に関係することから, 貯湯槽内を模擬的に 5 つの槽に分割し, 5 槽の熱収支計算を以下の熱収支式に基づき 1 分間隔で行い, 補助燃料消費量を 60 分間積算して求めることとした。貯湯槽は断面積 0.25m² の直方体とし, 分割した槽をそれぞれ上から tank_{1,2,3,4,5} とした。また, それぞれの槽内の水温は一定 (それぞれ tanktemp_{1,2,3,4,5} とする) とし, tank_x においてある時間から 1 分間に変化する温度を ΔT_x とすると, 熱収支式は以下のとおりとなる。

$$L\Delta T_1 = Q_{fclow_1} + Q_{load_1} + Q_{supply} + Q_{heat_1} + Q_{loss_1} \quad (x = 1)$$

$$L\Delta T_x = Q_{fclow_x} + Q_{load_x} + Q_{heat_x} + Q_{loss_x} \quad (x = 2,3,4,5)$$

$$Q_{fclow_1} = fclow \times (tanktemp_5 - tanktemp_1) \quad (x = 1)$$

$$Q_{fclow_x} = fclow \times (tanktemp_{x-1} - tanktemp_x) \quad (x = 2,3,4,5)$$

$$Q_{load_x} = f \times (tanktemp_{x+1} - tanktemp_x) \quad (x = 1,2,3,4)$$

$$Q_{load_5} = f \times (t_{water} - tanktemp_5) \quad (x = 5)$$

$$Q_{heat_1} = \frac{A_{water} \times \lambda \times (tanktemp_2 - tanktemp_1)}{1} \quad (x = 1)$$

$$Q_{heat_x} = \frac{A_{water} \times \lambda \times (tanktemp_{x+1} + tanktemp_{x-1} - 2tanktemp_x)}{1} \quad (x = 2,3,4)$$

$$Q_{heat_5} = \frac{A_{water} \times \lambda \times (tanktemp_4 - tanktemp_5)}{1} \quad (x = 5)$$

$$Q_{loss_x} = K \times A_{surface_x} \times (T_{room} - tanktemp_x)$$

ここで,

L : tank_x の体積 [L]

Q_{fclow_x} : tank_x における燃料電池の排熱回収のための水の循環による水の移動に伴う熱移動 [kcal/min]

fclow : 燃料電池の排熱回収のための水の循環流量 [L/min]

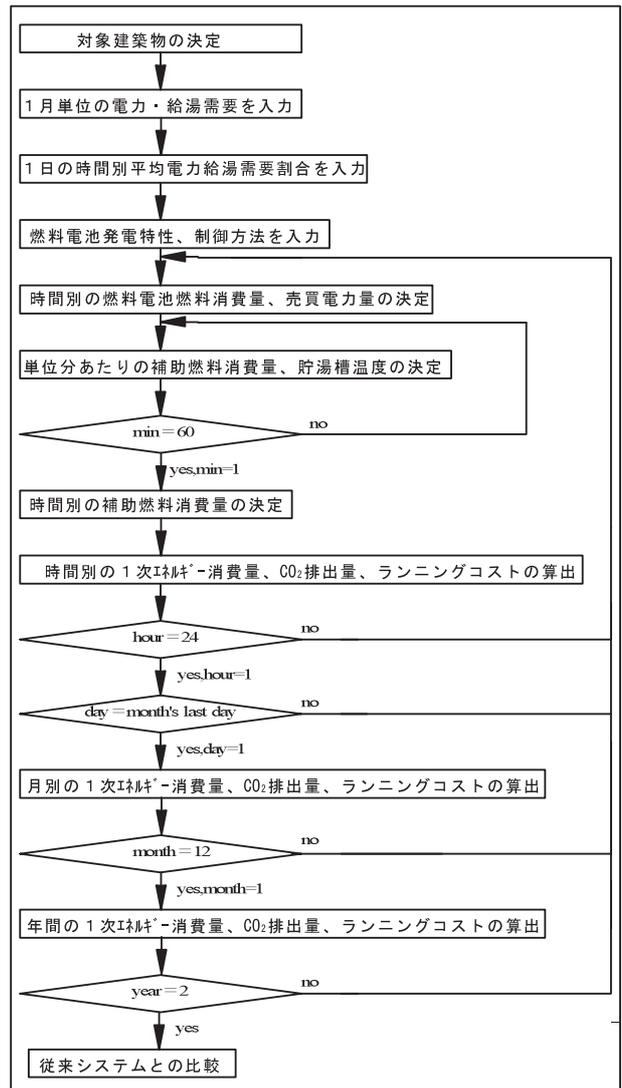
Q_{load_x} : tank_x における出湯に伴う熱移動 [kcal/min]

f : 給湯湯量 [L], t_{water} : 上水温度 [°C]

Q_{supply} : 燃料電池の排熱回収で得られる熱量 [kcal/min]

Q_{heat_x} : tank_x における tank_{x-1} と tank_{x+1} との熱伝導で移動する熱量 [kcal/min]

表 7 解析のフローチャート



A_{water} : $tank_1$ と $tank_2$ の伝熱面積 0.25 [m²]
 λ : 水の熱伝導率 0.00874 [kcal/min・m・°C]
 l : 隣接する tank の中点の距離 [m]
 $Q\ loss_x$: $tank_x$ から室内へ貫流する熱量 [kcal/min]
 K : 貯湯槽から室内への熱貫流率 0.0143 [kcal/min・m²・°C]
 $A_{surface\ x}$: $tank_x$ と室内の伝熱面積 [m²]
 $A_{surface\ 2} = A_{surface\ 3} = A_{surface\ 4}$
 $A_{surface\ 1} = A_{surface\ 5} = A_{surface\ 2} + \text{タンク断面積}$
 T_{room} : 室温 18 [°C]

なお, Sheet3 に貯湯槽下部(第5槽)の上限温度[°C] ($tanktemp_5$ の上限温度) を記入する項目を設けており, $tanktemp_5$ がこの温度を超える場合は, 燃料電池のオーバーヒート防止のため, $tank_5$ 部分の水のみ放熱させることができることとし, $tanktemp_5$ をこの温度と同じ温度とした。この際, 必要と考えられるファン動力などのエネルギー消費は考慮しない。

時間別で求めた燃料電池燃料消費量, 商用電力売買電力量, 補助燃料消費量をさらに日単位, 月単位で累積し, 年間の1次エネルギー消費量, 二酸化炭素排出量, ランニングコストに反映させる。これを商用電力と既存給湯機器を用いた従来のエネルギー供給システムと比較した。なお, 計算は2年分を行い, 最初の1年を助走期間とし, 2年目を本ソフトにおける出力データとした。

2.4 出力画面

表8に出力画面の一例を示す。出力画面には燃料電池用燃料, 給湯用補助燃料, 1次エネルギー消費削減量, 二酸化炭素排出削減量, 売買商用電力量, 2次電池電力量(2次電池の運転方法を選択した場合のみ出力), 燃料購買費, PEFCCGSを用いたシステムのランニングコスト削減率(η [%], また画面上ではコスト削減率と表示)が月毎, 年間を通じて出力される。ここで, 商用電力と給湯用熱源機器を用いた従来システムのランニングコストを $COST_{common}$, PEFCCGSを用いたシステムのランニングコストを $COST_{pefcgs}$ とすると η を以下のように定義する。

$$\eta = \frac{(COST_{common} - COST_{pefcgs})}{COST_{common}} \times 100$$

さらに, 給湯の余剰量を判定する際の参考として, 月毎, 年間の対象建築物の電力需要, 給湯需要に対する燃料電池から供給される電力, 排熱の寄与率(それぞれを $C_{e,month}$ [%], $C_{e,year}$ [%], $C_{h,month}$ [%], $C_{h,year}$ [%] とする), 月が変わる直前の貯湯槽内の温度分布も出力している。

なお, 時間別の電力需要量を E_{demand} , 燃料電池から供給される時間別の電力量を E_{pefcgs} とすると, $C_{e,month}$, $C_{e,year}$ を以下のように定義する。

$$C_{e,month} = \frac{1}{\text{month's last day}} \times \frac{1}{24} \times \sum_{day=1}^{\text{month's last day}} \sum_{hour=0}^{23} \left(\frac{E_{pefcgs}}{E_{demand}} \times 100 \right)$$

$$C_{e,year} = \frac{1}{365} \times \frac{1}{24} \times \sum_{month=1}^{12} \sum_{day=1}^{\text{month's last day}} \sum_{hour=0}^{23} \left(\frac{E_{pefcgs}}{E_{demand}} \times 100 \right)$$

ただし, $E_{demand} < E_{pefcgs}$ の場合, $E_{pefcgs}/E_{demand} = 1$ とする。

また, 月別の給湯需要量を H_{demand} , 補助熱源による加熱量を H_{backup} とすると, $C_{h,month}$, $C_{h,year}$ を以下のように定義する。

$$C_{h,month} = \frac{H_{demand} - H_{backup}}{H_{demand}}$$

$$C_{h,year} = \frac{\sum_{month=1}^{12} (H_{demand} - H_{backup})}{\sum_{month=1}^{12} H_{demand}} \times 100$$

本ソフトにおいて1次エネルギー消費量, 二酸化炭素排出量は, 従来システムに対する削減率として表示せず, 絶対量としてのみ出力することとした。逆潮流を考慮した場合, 逆潮流分の電力量は他の建築物で消費され, 計算上は対象建築物におけるある時間帯の1次エネルギー消費量から, 燃料電池で発電し余剰した電力分を電力会社が生産するために必要な1次エネルギー消費量を差し引くが, 削減率と表記すると, ベースとなる既存システムの熱電需要は逆潮流により供給した他の建築物の熱電需要も含む必要があり, 対象建築物における評価が困難になるからである。一方, ランニングコスト削減率は, 逆潮流を計算する場合でも対象建築物所有者と電力会社との電力の売買に基づき計算されるため, 他の建築物のことを考慮する必要はない。なお, グラフ化する機能は本ソフトには付与しておらず, 必要に応じて追加することとした。

3. 事例研究

作成したソフトを用いて, 札幌の戸建て住宅に PEFCCGS を導入することを想定し, 省エネルギー性(1次エネルギー消費削減量), 経済性(ランニングコスト削減率)について計算した。以下にその結果について紹介する。

3.1 解析対象住宅

札幌の戸建て住宅の熱電需要を文献⁵⁾のデータを用いて決定した。図2, 図3に用いた月別・時間別の平均電力・給湯需要量を示す。また, 各月の給水温度については, 札幌市のデータ⁶⁾を用いた。商用電力及び各燃料の1次エネルギー消費量, 二酸化炭素排出量は表6の値を用いている。なお, 年

表 8 出力画面（以下の3つの表が同じ行に印字される）

燃料電池容量 750.0W

月	FC用燃料 [m ³]	給湯用補助燃料 [L]	1次エネルギー消費削減量 [MJ]	二酸化炭素排出削減量 [kg-CO ₂]
1	47.7	44.4	722.9	44.4
2	43.1	49.5	662.1	40.8
3	47.7	39.2	719.1	44.0
4	46.2	35.8	688.4	42.1
5	47.7	18.9	644.8	38.7
6	46.2	12.7	597.8	35.6
7	47.7	8.2	582.8	34.3
8	47.7	1.4	521.5	30.0
9	46.2	3.0	530.8	30.9
10	47.7	10.1	598.8	35.4
11	46.2	21.0	633.9	38.2
12	47.7	37.2	708.5	43.3
年間	562.2	281.4	7611.4	457.8

買商用電力量 [KWh]	売商用電力量 [KWh]	燃料購買費 [円]	コスト効率 [%]	電池寄与率 [%]	電池排熱寄与率 [%]
259.4	4.6	10726.6	11.2	37.9	40.5
250.6	3.4	10490.4	10.6	36.4	35.8
223.7	8.5	9732.8	11.7	40.8	43.5
218.7	7.6	9361.3	11.8	40.7	44.7
191.2	17.9	8019.3	11.6	43.1	59.9
157.3	35.7	6838.0	9.4	43.6	67.6
150.7	46.0	6538.3	7.7	43.6	76.3
159.9	38.9	6415.0	8.1	43.6	94.7
156.0	36.7	6320.1	8.7	43.6	89.2
173.7	28.3	7178.2	10.4	43.6	72.7
197.9	13.6	8176.2	11.7	42.1	56.7
219.2	9.8	9536.4	11.7	41.1	44.5
2358.4	251.1	99332.7	10.4	41.4	60.7

tanktemp1 [°C]	tanktemp2 [°C]	tanktemp3 [°C]	tanktemp4 [°C]	tanktemp5 [°C]
21.6	14.3	9.6	7.0	5.7
20.2	12.6	8.1	5.9	5.0
21.6	14.6	9.8	6.9	5.2
22.5	15.5	10.7	7.7	6.0
28.7	22.7	17.7	13.9	11.1
31.9	26.2	21.2	17.2	14.2
35.5	29.8	24.8	20.8	17.8
41.5	36.2	31.2	27.0	23.5
39.9	34.0	29.0	25.1	22.3
35.1	28.8	23.9	20.3	17.8
29.4	22.7	17.8	14.6	12.6
23.7	16.5	11.8	9.0	7.6

間のエネルギー需要は、電力 14.49GJ, 給湯 16.88GJ である。

3.2 省エネルギー性を考慮した燃料電池容量、運転方法の検討

家庭用 PEFCGS において、逆潮流を考慮した運転を提案しているものもある。この理由は、対象建築物において余剰電力を他の需要先に用いると、その分だけ商用電力の生産に必要なエネルギーを省くことができ、一方で燃料電池が対象

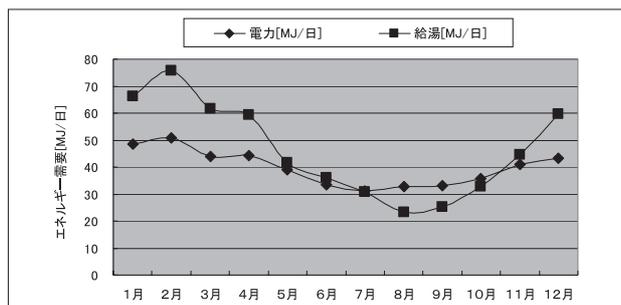


図 2 月別平均電力・給湯需要量

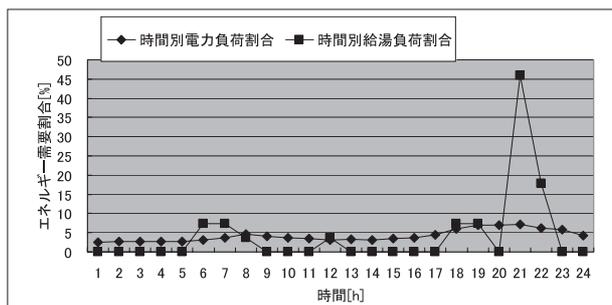


図 3 時間別平均電力・給湯需要割合