

固体高分子形燃料電池コージェネレーション導入評価ソフトの開発

白土 博康, 富田 和彦, 保科 秀夫, 山越 幸康

Development of Polymer Electrolyte Fuel Cell Cogeneration System Introduction Software

Hiroyasu SHIRATO, Kazuhiko TOMITA, Hideo HOSHINA
and Yukiyasu YAMAKOSHI

抄 録

固体高分子形燃料電池コージェネレーションを導入する際、導入対象建築物における熱電需要データや燃料電池の仕様、運転特性などから省エネルギー性（1次エネルギー消費削減量）、環境性（二酸化炭素の排出削減量）、経済性（ランニングコスト削減率）などを簡便に判定できる導入評価ソフトを作成した。また、本ソフトを活用し、札幌の戸建て住宅への固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステムの導入を想定した事例研究を行った。

キーワード：固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステム、ソフトウェア、省エネルギー性、経済性。

Abstract

We developed polymer electrolyte fuel cell cogeneration system introduction software which could be easily used to assess energy-saving level (amount of primary energy consumption cuts), amount of carbon dioxide emission cuts, economical efficiency (running cost reduction rate).

And also, we implemented case-study that polymer electrolyte fuel cell cogeneration system was introduced to house in Sapporo by using this software.

KEY-WORDS: polymer electrolyte fuel cell cogeneration system, software, energy-saving level, economical efficiency

1. はじめに

近年、分散型電源の一つである固体高分子形燃料電池コージェネレーションシステム（以下 PEFCCGS とする）が、発電効率の高さに加え、発電に伴う排熱を有効利用することによって二酸化炭素排出量の抑制にも寄与できる環境に優しいエネルギー変換装置として注目されており、国の施策の下、活発な研究開発、実証化試験が行われるなど、実用化に向けた取り組みが進められている。

前報¹⁾では、PEFCCGSの省エネルギー性、経済性を電池容量、運転方法、逆潮流の有無、発電効率、排熱回収効率などをパラメータとして計算する評価プログラムを作成し、このソフトを用いて札幌の実住宅における月別、時間別熱電需要データをもとに、メタンガスを燃料とする PEFCCGS の導入可能性を検討した。

今回開発したソフトは、これまでの計算プログラムを改良し、前提条件となるパラメータをエクセル上で入力可能とすることによって、多様な運転方法の省エネルギー性などを簡便に判定できるソフトとした。また、主にこれから導入を検討しているユーザーが活用できるように、導入現場の熱電需要データと PEFCCGS の運転方法などから計算できる仕様

事業名：一般試験研究

課題名：ガスハイドレトと燃料電池によるメタン利用技術の研究

とした。このため、冷却水の温度変化による熱交換効率の変化など各メーカーのPEFCCGSがそれぞれ独自の特性を持つ項目、配管の熱損失など各導入現場の状況に応じて変化する項目などは省略した。

この論文では、開発したソフトの概要について述べるとともに、本ソフトを活用した事例研究を行ったので以下に報告する。

2. 省エネルギー性、環境性、経済性の計算手法

2.1 想定したPEFCCGSモデル

本ソフトは主に住宅用を念頭に作成した。図1に本ソフトのPEFCCGSモデルを示す。

改質器を含む燃料電池（燃料が水素の場合は改質器は含まない）に燃料を投入し、そこで発生した電力をインバータ、分電盤を経由して電力需要に対応させる。ある時間帯の電力が燃料電池の発生量だけでは足りない場合、商用電力から電力を購入する。また、逆潮流を考慮する場合は、余剰電力を商用電力へ流し、売電する。

一方、発電の際に発生する排熱は、水を貯湯槽下部から燃料電池、貯湯槽上部へと循環させて回収し、給湯需要に対応させる。貯湯槽の断面積は容量に関わらず0.25m² (0.5×0.5m)とし、その形状は直方体とした。貯湯槽内部については後述するように上下5槽に分割して熱計算を行う。給湯需要がある場合、その給湯負荷に見合った水量が給水口から貯湯槽の第5槽（最下部）に供給され、貯湯槽は常に満水状態となる。燃料電池と貯湯槽の熱交換については、水温が低い貯湯槽の第5槽から燃料電池へ導入され、第1槽（最上部）に戻される。需要サイドの給湯温度は常に40℃とし、貯湯槽第1槽から供給される温水が40℃を越えると、給水口から水が供給され混合バルブにより40℃に冷却される。また40℃未満の場合については、補助熱源により40℃に加温される。なお、補助熱源に用いられる機器は、出湯温度が安定しないため、入口温度が30℃以下の仕様になっている場合があるが、ここではソフト上そうした機器は考慮しない。

本ソフトでは、前報と同様、燃料電池排熱の暖房への利用は検討していない。この理由は、暖房需要を加えると対象建

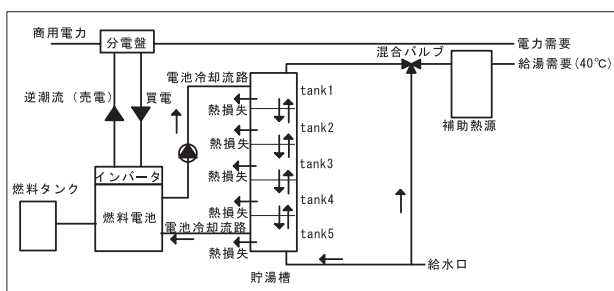


図1 PEFCCGSモデル

築物における熱電需要比と熱電供給比のバランスが悪くなり、ネットワーク型のCGSの場合²⁾を除き、適正な運転が困難となるからである。

また、各メーカーで開発されているPEFCCGSの貯湯槽には、省エネルギー性が高い自然対流による温度成層型が採用されている。このため、前報では完全混合型で計算を行ったが、本ソフトにおける貯湯槽は温度成層型に変更した。

2.2 入力画面

入力画面はSheet1～6に分かれており、Sheet1では表1のように月別のエネルギー需要(電力量, 給湯)[MJ/日], 給水温度[℃]を入力する。

表1 月別のエネルギー需要, 給水温度 (Sheet1)

月別エネルギー需要, 給水温度

	電力[MJ/日]	給湯[MJ/日]	給水水温[℃]
1月	48.48	66.30	4.3
2月	50.68	75.80	3.9
3月	43.89	61.57	3.3
4月	44.23	59.44	4.1
5月	39.02	41.72	7.8
6月	33.49	36.00	10.5
7月	31.06	30.79	14.2
8月	32.95	23.23	19.3
9月	33.21	25.40	19.1
10月	35.78	32.81	15.2
11月	41.02	44.51	10.6
12月	43.21	59.55	6.0

次にSheet2では表2のように時間別の電力負荷割合[%], 給湯負荷割合[%]を入力する。表の中で、例えば時間が17～18と表記されている場合、17時0分から18時直前までを示している。本ソフトでは、ある時間の熱電需要量をSheet1の月別エネルギー需要とSheet2の時間別のエネルギー需要の積で算出しているが、夏期を6～8月、冬期を12～2月、中間期を3～5月、9～11月に割り当て、季節によって時間別の電力、給湯需要割合が変化することに対応している。

Sheet3では表3のようにPEFCCGSの仕様を備考欄の対応する数字に合わせて入力する。燃料電池から発生する排熱の利用法については、現在までのところ前述のように給湯のみの対応となっている。逆潮流の有無の項目では、逆潮流によって取り引きされる売買電力量の計算、それに起因する経済性を検討するようになっており、次の電力の逆潮流分を考慮した計算の有無において、省エネルギー性(1次エネルギー消費量)・環境性(二酸化炭素排出量)を検討する。ここで電力の逆潮流分を考慮した計算の有無を有とすると、電力の逆潮流分が同じ時間帯に別の場所で使用されたと仮定し、それに相当する商用電力を生産するために必要なエネルギー及び二酸化炭素排出量を削減できるものとした。燃料電池の燃料の種類には、天然ガス、LPGの他に、水素や灯油も加えて

表2 時間別の電力負荷割合, 給湯負荷割合 (Sheet2)

時間別電力負荷割合

時間	夏(6~9月)	冬(12~2月)	中間期(3~5月,10~11月)
0-1	2.5	2.5	2.5
1-2	2.7	2.7	2.7
2-3	2.7	2.7	2.7
3-4	2.7	2.7	2.7
4-5	2.7	2.7	2.7
5-6	3.0	3.0	3.0
6-7	3.7	3.7	3.7
7-8	4.7	4.7	4.7
8-9	4.0	4.0	4.0
9-10	3.6	3.6	3.6
10-11	3.5	3.5	3.5
11-12	3.2	3.2	3.2
12-13	3.2	3.2	3.2
13-14	3.1	3.1	3.1
14-15	3.5	3.5	3.5
15-16	3.6	3.6	3.6
16-17	4.5	4.5	4.5
17-18	6.0	6.0	6.0
18-19	7.0	7.0	7.0
19-20	7.0	7.0	7.0
20-21	7.2	7.2	7.2
21-22	6.1	6.1	6.1
22-23	5.8	5.8	5.8
23-24	4.2	4.2	4.2

時間別給湯負荷割合

時間	夏(6~9月)	冬(12~2月)	中間期(3~5月,10~11月)
0-1			
1-2			
2-3			
3-4			
4-5			
5-6	7.3	7.3	7.3
6-7	7.3	7.3	7.3
7-8	3.7	3.7	3.7
8-9			
9-10			
10-11			
11-12	3.7	3.7	3.7
12-13			
13-14			
14-15			
15-16			
16-17			
17-18	7.3	7.3	7.3
18-19	7.3	7.3	7.3
19-20			
20-21	45.9	45.9	45.9
21-22	17.9	17.9	17.9
22-23			
23-24			

いる。貯湯槽と燃料電池との熱交換媒体は水を想定し、その比熱は $4.186\text{J/g}\cdot\text{K}$ とした。貯湯槽下部（第5槽）の上限温度については、燃料電池を冷却することが可能となる上限の温度をここで定める。燃料電池発電効率、排熱回収効率はそれぞれ高位発熱量（HHV）基準で入力する。また燃料電池の発電効率は燃料電池からインバータを経た交流端における効率を想定している。

Sheet4 では表4のように燃料電池運転制御方法を入力す

る。制御方法は次の8通りの中から選択することとした。

①定格負荷連続運転

定格出力での連続運転。

②定格負荷 DSS 運転

定格出力での DSS (Dairy Start and Stop, 1日最大2回起動停止) 運転。例えば表4の場合は、1日に1回16時から発電を開始し、23時(24時ではないので注意)に発電を停止する。

表3 PEFCCGS の仕様 (Sheet3)

燃料電池コージェネレーションシステムの仕様

		備 考
燃料電池定格容量 [kW]	0.30	
燃料電池から発生する排熱の利用法	1	(1:給湯に利用)
逆潮流の有無	1	(1:有, 2:無)
電力の逆潮流分を考慮した計算の有無	1	(1:有, 2:無)
FC 燃料の種類	4	(1:天然ガス, 2:LPG, 3:灯油, 4:水素)
FC 燃料の価格	20	(天然ガス $\text{m}^3/\text{円}$, LPG $\text{Kg}/\text{円}$, 灯油 $\text{L}/\text{円}$, 水素 $\text{m}^3/\text{円}$)
バックアップ用給湯燃料の種類	3	(1:天然ガス, 2:LPG, 3:灯油, 4:水素)
バックアップ用給湯燃料の価格	50	(天然ガス $\text{m}^3/\text{円}$, LPG $\text{Kg}/\text{円}$, 灯油 $\text{L}/\text{円}$, 水素 $\text{m}^3/\text{円}$)
バックアップ用給湯機器の燃焼効率 [%]	75	
貯湯槽容量 [L]	300	
定格運転時の貯湯槽と燃料電池との熱交換流量 [l/min]	0.6	
貯湯槽下部（第5槽）の上限温度 [°C]	60	
燃料電池発電効率 [%]	35	
廃熱回収効率 [%]	40	
既存給湯用燃料の種類	3	(1:天然ガス, 2:LPG, 3:灯油)
既存給湯用燃料の価格	50	(天然ガス $\text{m}^3/\text{円}$, LPG $\text{Kg}/\text{円}$, 灯油 $\text{L}/\text{円}$)
既存給湯用燃料機器の燃焼効率 [%]	75	
商用電力からの買電レート	20	(円/kWh)
商用電力への売電レート	5	(円/kWh)

表 4 燃料電池運転制御方法 (Sheet4)

燃料電池運転制御方法

	夏期(6～9月)	冬期(12～2月)	中間期(3～5月, 10～11月)
制御方法	2	2	2
燃料電池運転回数(下記で 2, 7 の場合のみ記載, 1:1 回, 2:2 回)	1	1	1
燃料電池運転方法 (1 回目発電開始時間)	16	16	16
燃料電池運転方法 (1 回目発電終了時間)	23	23	23
燃料電池運転方法 (2 回目発電開始時間)			
燃料電池運転方法 (2 回目発電終了時間)			

制御方法 (①定格負荷連続運転, ②定格負荷 DSS 運転, ③電力負荷手動設定運転, ④電力負荷自動追従運転, ⑤定格負荷熱主電従 DSS 運転, ⑥熱負荷自動追従運転, ⑦熱負荷自動追従 DSS 運転, ⑧ 2 次電池使用)

③電力負荷手動設定運転

電力需要に応じて時間別に出力を調整する運転。

表 5 のように Sheet5 にて定格出力に対する 0, 25, 50, 75, 100% の 5 段階で手動入力する。

④電力負荷自動追従運転

前年度等の熱電需要データに基づいたプログラム運転。

ここでは, Sheet1, 2 の電力負荷データに基づき, 次の通り定格出力と電力負荷の関係により自動的に出力を決定する。

100% ≤ 電力負荷の場合, 定格で運転

75% ≤ 電力負荷 < 100% の場合, 定格の 75% で運転

50% ≤ 電力負荷 < 75% の場合, 定格の 50% で運転

0% ≤ 電力負荷 < 50% の場合, 定格の 25% で運転

⑤定格負荷熱主電従 DSS 運転

貯湯槽温度による ON/OFF 運転。

貯湯槽の第 1 槽 (最上部) の温度が 40℃ 未満で運転を開始し, 50℃ 以上になった時停止することとする。

⑥熱負荷自動追従運転

前年度等の熱電需要データに基づいたプログラム運転。

ここでは, Sheet1, 2 の熱負荷データに基づき, 次の通り定格出力と熱負荷の関係により自動的に出力を決定する。

100% ≤ 熱負荷の場合, 定格で運転

75% ≤ 熱負荷 < 100% の場合, 定格の 75% で運転

50% ≤ 熱負荷 < 75% の場合, 定格の 50% で運転

0% ≤ 熱負荷 < 50% の場合, 定格の 25% で運転

⑦熱負荷自動追従 DSS 運転

前年度等の熱電需要データに基づいたプログラム運転。

ここでは, Sheet1, 2 の熱負荷データに基づき, 1 日の負荷を手動入力した運転時間で除した値をその時間帯の熱負荷として計算し, 定格出力と熱負荷の関係により次の通り自動的に出力を決定する。

100% ≤ 熱負荷の場合, 定格負荷 DSS 運転と同じ運転になるため計算を中止

75% ≤ 熱負荷 < 100% の場合, 定格の 75% で運転

50% ≤ 熱負荷 < 75% の場合, 定格の 50% で運転

0% ≤ 熱負荷 < 50% の場合, 定格の 25% で運転

⑧ 2 次電池使用

電力需要量が定格出力を超える場合, その差を 2 次電池で補う。制御は前報と同様に 2 次電池容量が 3.5kWh 以下になると運転を開始し, 5kWh になった段階で停止することとする。2 次電池使用の際に発生するエネルギー損失は考慮しない。

計算の結果, 2 次電池容量が 0kWh 未満になった場合, 計算を中止することとした。

なお, ②定格負荷 DSS 運転, ⑦熱負荷自動追従 DSS 運転については, 最大 1 日 2 回運転可能としており, 運転する時間を自由に入力することが可能である。

また, ⑤定格負荷熱主電従 DSS 運転, ⑧ 2 次電池使用において, 計算の結果, 1 日の起動回数が 3 回以上ある場合は, 計算を中止することとした。

さらに本ソフトの一つの特徴として, 季節により電力・給湯負荷が大きく変動することを考慮し, 季節別 (冬期, 夏期,

表 5 電力負荷追従運転する場合の電力供給量 (Sheet5)

電力負荷追従運転する場合の電力供給量 (定格に対し x%) で運転

時間	夏(6～9月)	冬(12～2月)	中間期(3～5, 10～11月)
0- 1	25	25	25
1- 2	25	25	25
2- 3	25	25	25
3- 4	25	25	25
4- 5	25	25	25
5- 6	25	25	25
6- 7	50	50	50
7- 8	50	50	50
8- 9	50	50	50
9-10	50	50	50
10-11	25	25	25
11-12	25	25	25
12-13	25	25	25
13-14	25	25	25
14-15	25	25	25
15-16	50	50	50
16-17	50	50	50
17-18	75	75	75
18-19	75	75	75
19-20	75	75	75
20-21	100	100	100
21-22	75	75	75
22-23	75	75	75
23-24	50	50	50