水素タウンモデル事業報告書

― 平成 21 年度事業及び事業総括 ―

平成２３年３月

周南市温暖化対策地域協議会

水素タウンモデル事業推進部会

目　次

1.　はじめに
1.1. 目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 1
1.2. 期間 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 1
1.3. 実施場所 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 1
1.4. 実施体制 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 2

2.　設備仕様とデータ収集概要
2.1. 設備概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 2
2.1.1. 水素パイプライン ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 2
2.1.2. 水素供給燃料電池 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 3
2.2. システム構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 3
2.2.1. 副生水素工程 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 3
2.2.2. 水素パイプラインの仕様 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 5
2.2.3. 水素供給燃料電池の仕様 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 6
2.3. データ測定方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 9
2.3.1. データ測定項目 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 9
2.3.2. データ評価方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 9

3.　平成 21 年度成果のとりまとめ
3.1. 副生水素供給 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 11
3.1.1. 水素供給量 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 11
3.1.2. 水素の安定供給 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 11
3.2. 水素供給燃料電池の運転状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 13
3.2.1. 水素供給燃料電池の発電状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 13
3.2.2. 稼動状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 14
3.2.3. 水素供給燃料電池の性能 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 17
3.3. トラブルの発生状況と改善対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 18
3.4. 季節変動、夏期・冬期の運転状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 19
3.5. 省エネ性（一次エネルギー削減量、運転状況による影響） ・・・・・・・・・ P 24
3.6. 環境性（二酸化炭素削減量、運転状況による影響） ・・・・・・・・・・・ P 25
3.7. 燃料電池の特徴（改質タイプ燃料電池との性能比較） ・・・・・・・・・・・ P 30

4.　平成 21 年度のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 32

5.　事業総括
5.1. 水素供給燃料電池の発電状況 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 33
5.2. 省エネ性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 34
5.2.1. 省エネ性（一次エネルギー削減量） ・・・・・・・・・・・・・・・・・ P 34

5.2.2. 省エネ性（一次エネルギー削減率）　・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 35
5.3. 環境性（二酸化炭素削減量）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 36
5.4. 経済性（光熱費の削減状況）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 37
5.5. トラブルの状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 37
5.6. 事業の啓発について　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 40
5.7. ３年間の本事業のまとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 41
5.7.1. 水素供給燃料電池システムについて　・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 41
5.7.2. 水素パイプラインについて　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 42
5.7.3. 今後の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　P 42

6.　水素タウンモデル事業の成果と今後への展望　・・・・・・・・・・・・・・・　P 44

○参考　資料･データ集（平成 19 年度～平成 21 年度）

資料 1　水素タウンモデル事業推進部会 委員名簿
資料 2　パッケージ外形図、Ｐ＆ＩＤ
資料 3　工場からの副生水素の供給実績（平成 19 年度～平成 21 年度）
資料 4　水素導管における水素供給状態
1. 圧力測定結果　（平成 19 年度～平成 21 年度）
2. 水素供給燃料電池システムの運転実績及び故障等
（平成 19 年度～平成 21 年度）
3. 水素ガス供給状態（平成 19 年度～平成 21 年度）
資料 5　水素供給燃料電池の運転実績（平成 19 年度～平成 21 年度）
資料 6　設置家庭アンケート
資料 7　緊急時対応マニュアル

1.　はじめに

1.1. 目的

全国最大規模の水素副生能力を有する周南コンビナートの地域特性を活用し、地域の産学公が連携・協働して、二酸化炭素を排出しない非改質タイプ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「水素供給燃料電池」という。）を一般家庭に導入することにより、家庭からの二酸化炭素排出量を削減し、民生家庭部門における地球温暖化対策に資することを目的とする。

水素タウンモデル事業（以下「本事業」という。）の全体イメージを図 1.1 に示す。

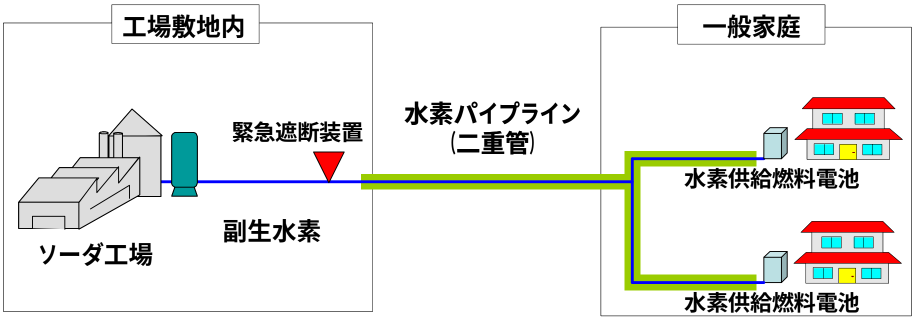

図 1.1　事業全体イメージ

1.2. 期間

平成 21 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日

1.3. 実施場所

山口県周南市江口地内

1.4. 実施体制

本事業は、周南市温暖化対策地域協議会（以下「協議会」という。）が実施した。

本事業に関する具体的な計画、運用及び評価等については、協議会の下部組織である水素タウンモデル事業推進部会（以下「部会」という。）で行った。

2. 設備仕様とデータ収集概要

2.1. 設備概要

一般家庭に設置するため、地域住民への安心・安全を最優先した安全対策を講じた、水素タウンモデル事業の設備構成を図 2.1 に示す。

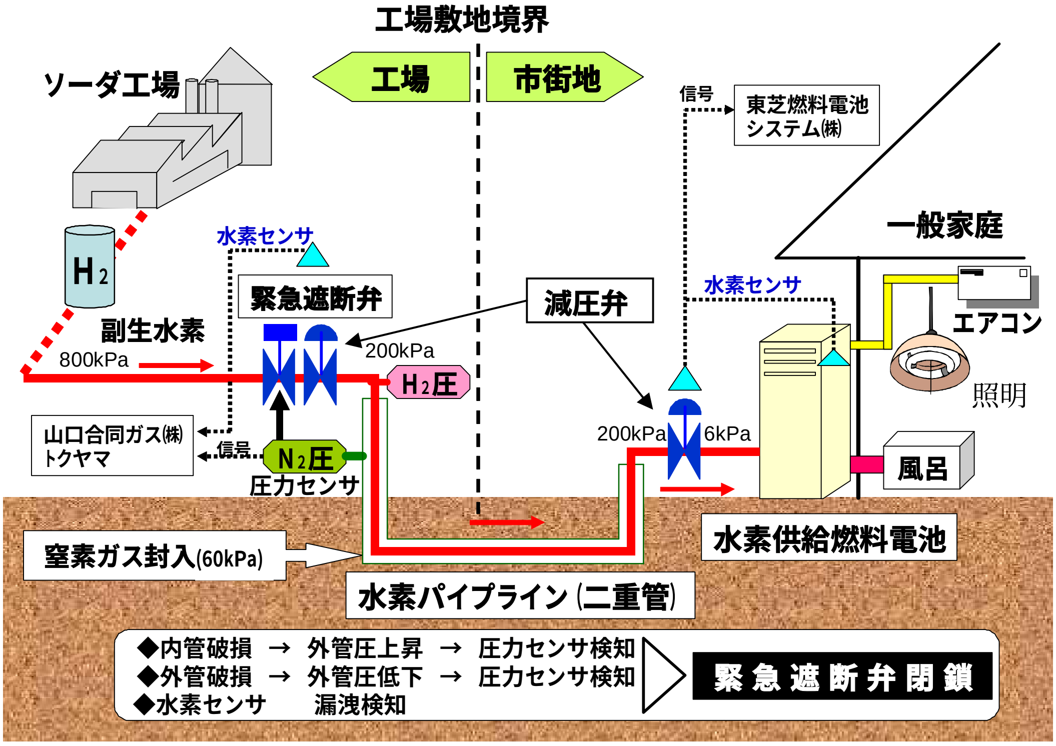

図 2.1 水素モデルタウン事業の設備構成

2.1.1. 水素パイプライン

【地上配管（水素分岐配管）】

㈱トクヤマ徳山製造所のソーダプラントで副生する水素を、既設水素パイプライン（地上配管）から分岐し、敷地境界近くに新設するバルブヤードまで送る地上配管。（以下「水素分岐配管」という。）

【埋設配管（水素導管）】

緊急遮断弁、減圧弁を配置したバルブヤードから家庭敷地内まで埋設した二重管で水素を輸送し、水素供給燃料電池と接続するまでの配管。（以下「水素導管」という。）

2.1.2. 水素供給燃料電池

水素供給燃料電池の外観を図 2.2 に示す。
本燃料電池を一般家庭２世帯に設置し、運転を行った。

図 2.2　水素供給燃料電池外観

一般家庭に水素を供給するための安全対策は、下記の通り。

① 水素導管には、圧力配管用炭素鋼鋼管を使用し、溶接による接合を行う。接合の確認は、非破壊検査により行った。

② 埋設部分は二重管を採用した。

③ 二重管の内管（水素を供給する管）と外管の間には、加圧した窒素ガスを封入する。その窒素ガスの圧力を常時監視することで水素漏洩を検知し、漏洩時には自動的に供給を遮断するシステムを採用した。

④ 緊急遮断弁及び減圧弁の配管との接続部は、フランジを使用しているため水素漏洩センサを設置し、緊急遮断弁と連動させた。

2.2. システム構成

2.2.1. 副生水素工程

①副生水素工程

株式会社トクヤマ徳山製造所内において、苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）及び塩素を生産する過程で水素が副生される。オーストラリアやメキシコから船で運搬した天日塩（海水を天日干しして製造したもの）を塩水精製工程により塩水（塩水濃度約 30%）とし、電解工程により電気分解し、副生する水素を精製工程により精製後、水素供給燃料電池の燃料として使用した。

苛性ソーダの製造工程を図 2.3 に示す。

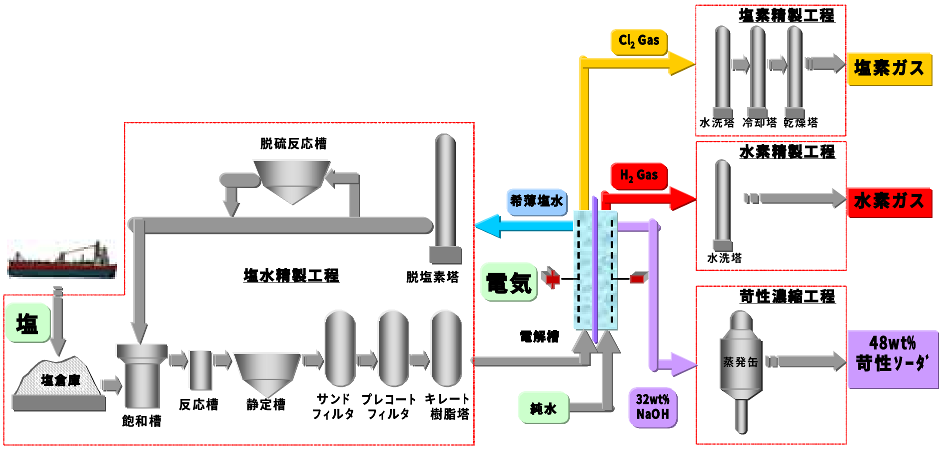

図 2.3　苛性ソーダの製造工程（食塩電解）

②副生水素の精製工程

副生水素の精製工程を図 2.4 に示す。

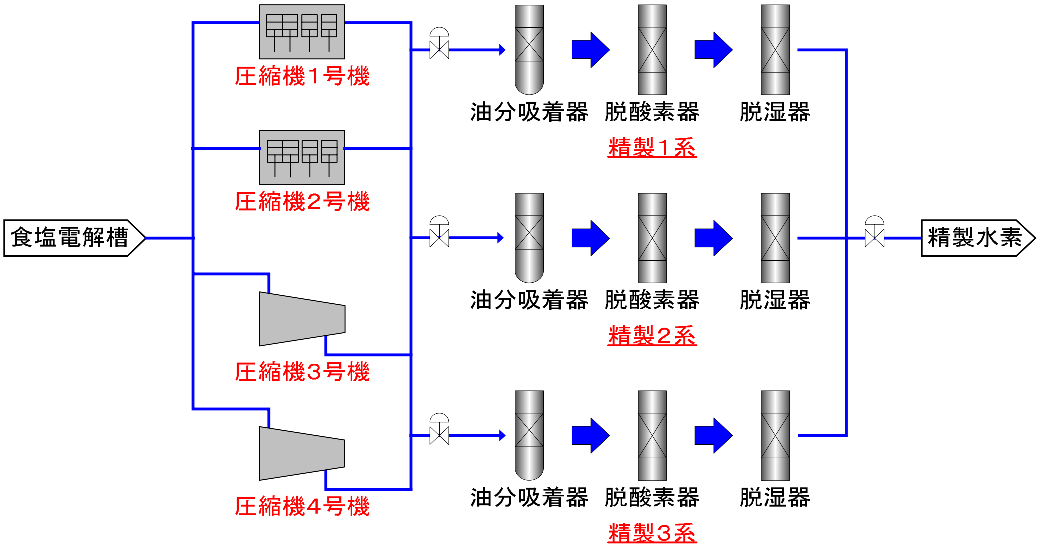

図 2.4 副生水素の精製工程

③副生水素の性状

副生水素の性状を表 2.1 に示す。

表 2.1 副生水素の性状等

項目	O_2 (ppm)	N_2 (ppm)	CO_2 (ppm)	CO (ppm)	NH_3 (ppm)	油分 (ppm)	露点 (℃)	H_2 純度 (%)
電解水素	20	2	―	―	―	―	―	―
精製水素	0.01	2	0.01	N.D. *1)	0.01ppm 以下	0.1ppm 以下	-90 以下	99.999 以上

*1) N.D. ：Not Detected の略　（検出下限以下）

2.2.2. 水素パイプラインの仕様

水素パイプラインの仕様を表 2.2、表 2.3 に示す。

表 2.2　水素パイプラインの仕様（水素分岐配管）

項　　目	仕　　　様
配管　（材質-サイズ）	圧力配管用炭素鋼鋼管(STPG370-25A×Sch40)
バルブ	手動弁
配管延長	１７０ｍ（地上配管）
監視装置	水素ガスの流量及び圧力監視

表 2.3　水素パイプラインの仕様（水素導管）

項目		仕様
配管 (材質-サイズ)	本管(水素ガス)	直管　圧力配管用炭素鋼鋼管(STPG370-25A×Sch40)
		曲管　PT370-25A×Sch40
		T 字管　PT370-25A×Sch40
	鞘管(窒素ガス)	直管　配管用炭素鋼鋼管(SGP-80A)
		曲管　FSGP-80A
		T 字管　FSGP-80A
		異形管　FSGP-80A×40A×25A
バルブ		緊急遮断弁（空気駆動式ボール弁）、手動弁（ボール弁）
減圧弁		自力式（設定圧力　200ｋPa、6ｋPa）
ストレーナ		Y 型ストレーナ
配管延長		300m　(地上配管 7m、埋設配管 293m)
埋設深度		市道（GL－0.6㎜）、(株)トクヤマ緑地（GL－0.3㎜）
監視装置	現場計装盤（㈱トクヤマ内バルブヤードに設置）	水素ガス、窒素ガスの圧力監視
		水素ガス漏洩監視
		緊急遮断弁操作及び開閉状態表示
	遠隔監視操作盤（山口合同ガス㈱徳山支店に設置）	水素ガス、窒素ガスの圧力監視及び記録
		水素ガス漏洩監視
		緊急遮断弁操作及び開閉状態表示

2.2.3. 水素供給燃料電池の仕様

水素供給燃料電池の構成の概略を図 2.5 に、仕様を表 2.4 に示す。

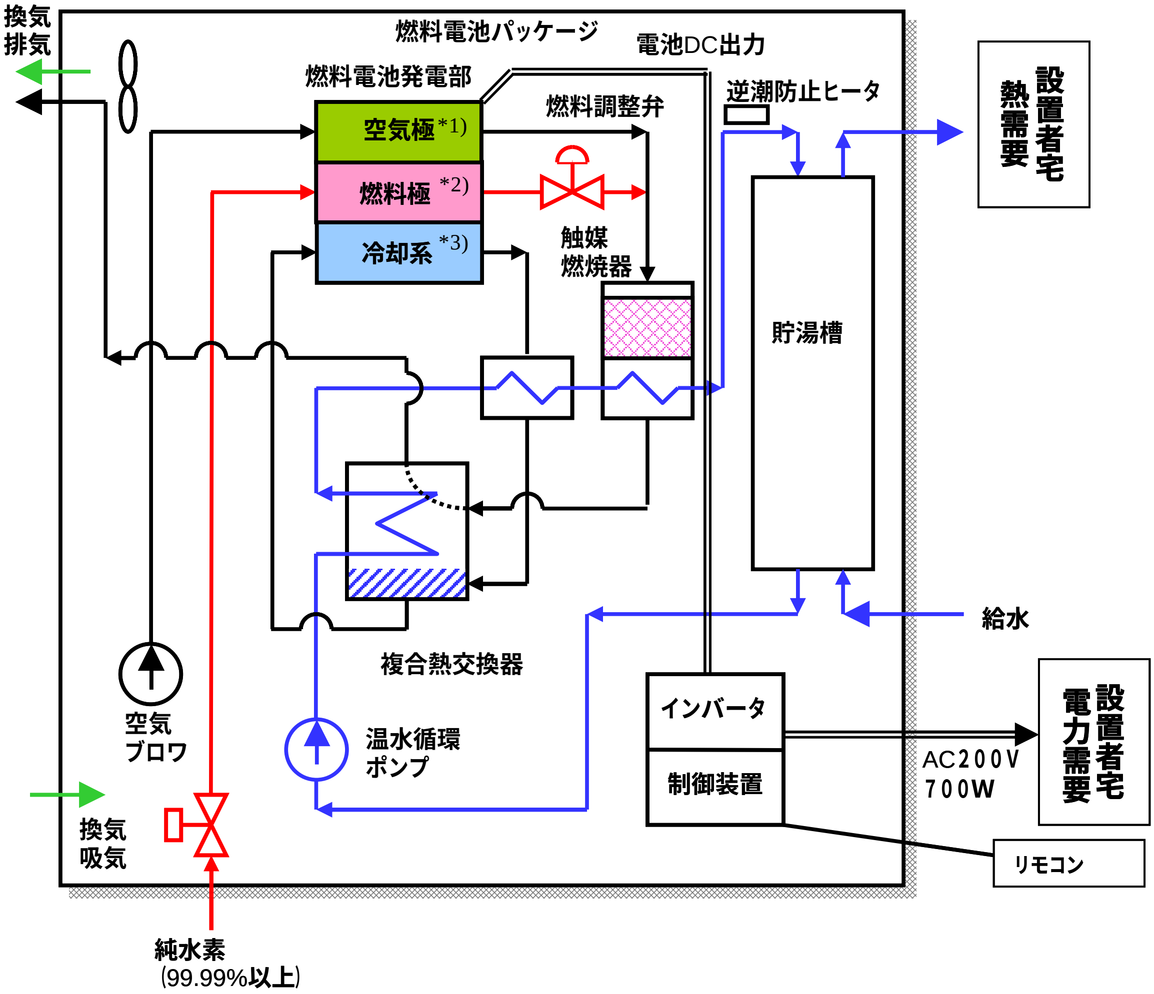

図 2.5　水素供給燃料電池システムの構成の概略

＊1)空気極：燃料電池発電部の一部を構成し、発電反応の酸化剤となる酸素が以下の反応により、水素イオンと反応して水を生成する部分。
カソード極とも言う。

$$4H^{+}+O_2+4e^{-}\rightarrow 2H_2O$$

＊2)燃料極：燃料電池発電部の一部を構成し、発電反応の還元剤となる水素が以下の反応により、水素イオンと電子となる部分。
アノード極とも言う。

$$H2\rightarrow 2H^{+}+2e^{-}$$

＊3)冷却系：燃料電池発電部の一部を構成し、発電反応の際に発生する熱を除去する部分。本水素供給燃料電池システムでは水冷方式を採用している。

表 2.4　水素供給燃料電池システムの仕様

項　目		仕　様	
一般事項	種類	固体高分子形	非改質タイプ
	構造	パッケージ型	貯湯タンク一体型
	サイズ	W101×D40×H188cm	
	重量	２５０ｋｇ以下	
	設置場所	屋外	凍結防止用ヒータ内蔵
電気出力	定格出力	７００W	交流送電端
	定格電圧	ＡＣ２００Ｖ	単相３線式
	電気方式	系統連系	
	発電効率	４０％以上(HHV)	交流送電端、定格時
	周波数	６０Ｈｚ	
	高調波	総合５％以下、各次３％以下	電流歪率、定格容量に対して
温水出力	出口温度	６０℃以上	システム出口部、定格・排熱出力時
燃料	燃料	水素（９９．９９％）	NH_3<0.2ppm、CO<0.1ppm
	供給圧力	６ｋ±１ｋPaG	
その他	運転方式	全自動	電主負荷追従湯溜り停止 *1) 逆潮防止ヒータ内蔵 *2)
	総合効率	７０％以上(HHV)	定格時
貯湯タンク	容量	１３７Ｌ	

*1) 電主負荷追従湯溜り停止

当水素供給燃料電池の運転方式。

・設置者宅の電気需要を熱需要よりも優先した運転制御を行う。
・受電点電力が買電状態の時には、発電出力を増加させる
・発電運転主体のため、熱供給は運転出力や出力変動に伴い変化する。

※湯溜り停止：貯湯タンクの下部まで蓄熱が進むと燃料電池は停止し、貯湯タンク上部温度が低下するまで停止状態を継続する。

*2) 逆潮防止ヒータ

設置宅の消費電力よりも水素供給燃料電池の発電電力が大きい場合に、発電した電力の一部が逆潮（設置宅から電力系統へ流れ出す）することを防止するための機器。

現時点では、一般的には水素供給燃料電池は逆潮は認められていないため、この装置を設置している。

本事業では、水素供給燃料電池と、ソーラー接続ユニットを介して、一般給湯器と接続することで、既設給湯器を活用し、お湯の安定供給を図ったものである。水素供給燃料電池の周辺系統図を図 2.6 に示す。

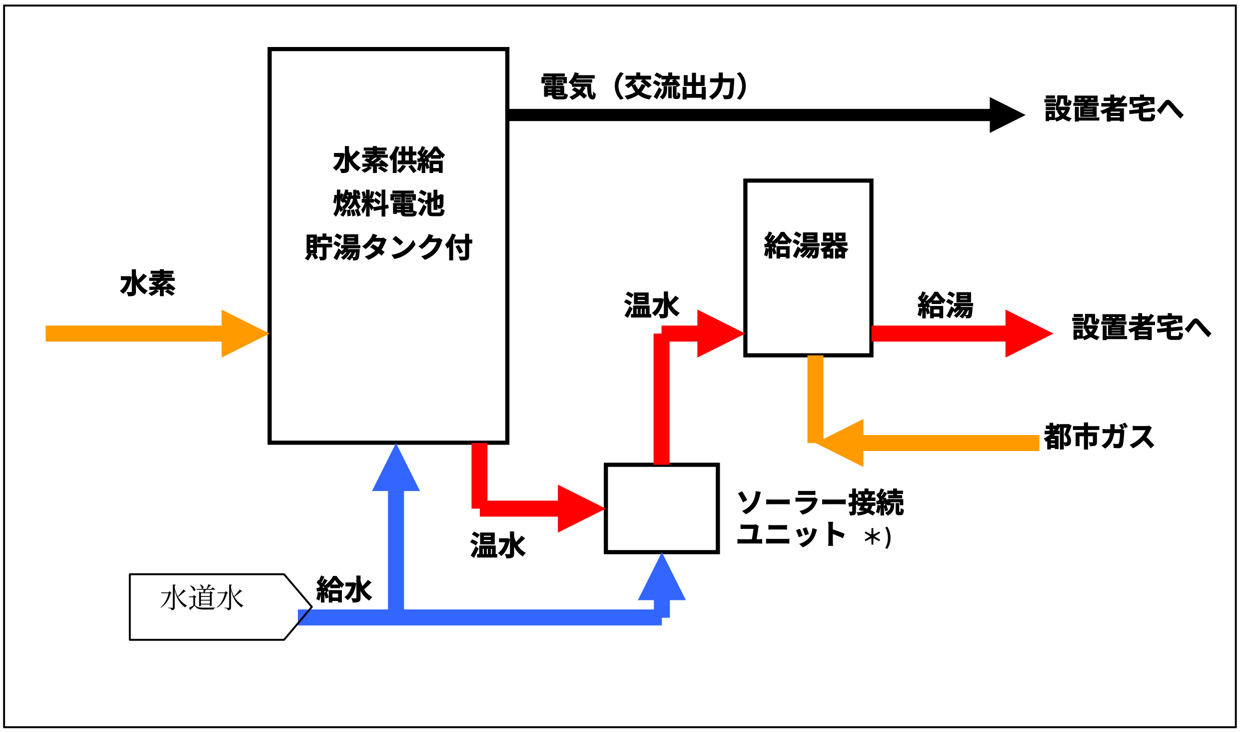

図 2.6　概略周辺系統図

*）ソーラー接続ユニットは、太陽熱温水器と給湯器との組合せ運用時に、温水と水道水とを混合して、給湯設定温度とし、必要に応じて、給湯器での追加加熱も自動で行う機能を有する機器であり、同様のコンセプトの機器は主要給湯器メーカーで商品化されているものである。

2.3. データ測定方法

2.3.1. データ測定項目

項目毎に定められた測定頻度でデータ測定を行った。

本事業でのデータ測定項目を表 2.5 に示す。

表 2.5　データ測定項目

データ収集内容		測定方法及び内容				
対　象	項　目	機器計測	計算	報告	測定頻度	内　容
副生水素供給	水素供給量	○			毎月	
	水素供給圧力	○			連続	4 分毎に最大/最小をﾃﾞｰﾀ保存
	封入窒素圧力	○			連続	〃
	故障等内容			○	発生時	
水素供給燃料電池	燃料電池発電量	○			10 秒毎	5 分平均をデータ保存
	燃料電池受電量	○			10 秒毎	〃
	燃料電池燃料(水素)供給量	○			10 秒毎	〃
	燃料電池熱回収量		○			
	運転時間	○			10 秒毎	5 分平均をデータ保存
	発電時間	○			10 秒毎	〃
	起動回数	○			10 秒毎	〃
	燃料電池電力供給量		○			
	燃料電池湯供給量		○			〃
	燃料電池湯供給温度	○			10 秒毎	5 分平均をデータ保存
	既設給湯器の燃料使用量	○			10 秒毎	〃
	設置家庭への湯供給量		○			
	故障等内容			○	発生時	
設置家庭	電気使用量			○	毎月	
	ガス使用量			○	毎月	
	灯油使用量			○	毎月	
	水道使用量			○	2 か月毎	

2.3.2. データ評価方法

副生水素の供給については、供給の安全性及び信頼性の状況確認を行い、水素供給燃料電池については、システム性能評価を通じて、1 次エネルギー削減効果、二酸化炭素削減効果の評価を行った。

データ評価方法を表 2.6 に示す。

表 2.6　データ評価方法

評価項目			内容
副生水素供給	水素パイプライン	水素供給状況	副生水素の安定供給状況等
		安全対策	常時監視システムの作動状況等
		信頼性	故障発生状況、維持管理状況等
水素供給燃料電池	燃料電池運転性能	燃料電池稼働率(%)	稼働率Ａ(%) *1) ＝((運転可能時間－故障停止時間)／運転可能時間）×100 稼働率Ｂ(%)=（発電時間／運転可能時間）×100 注：運転可能時間 ＝暦時間-計画停止時間-外的要因停止時間
		電力需要寄与率	電力需要寄与率 ＝{燃料電池電力供給量／(設置宅受電点電力量＋燃料電池電力供給量)}
		燃料電池発電量	1時間の燃料電池発電量積算
		負荷追従性	1時間の電力需要と発電電力差の平均値 ＝消費電力量平均値－燃料電池発電量平均値
		燃料電池湯供給量	1時間の温排水回収量の平均値 ＝(温水回収往温度－温水回収還温度）×温水回収流量
		電力有効利用率	1-(発電電力量-電力供給量)／発電電力量
		熱有効利用率	1-(熱回収量-熱供給量)／熱回収量
		スタック耐久性	スタックの劣化による経年変化等
	燃料電池システム性能	発電効率（%HHV)	{1時間の積算発電量÷(1時間の積算水素消費量×水素高位発熱量)}×100%
		熱回収効率（%HHV)	{1時間の積算温水熱量÷(1時間の積算水素消費量×水素高位発熱量)}　×100%
		総合効率（%HHV)	1時間の燃料電池の発電効率+熱回収効率
		電気利用効率（%HHV)	（燃料電池電力供給量×3.6）÷燃料電池燃料供給量　＜3.6：kWh→MJ への換算係数＞
		熱利用効率（%HHV)	燃料電池湯供給量÷燃料電池燃料供給量
		総合利用効率（%HHV)	電気利用効率＋熱利用効率
		信頼性	故障発生状況、維持管理状況等
	総合評価	１次エネルギー削減効果 １次ｴﾈﾙｷﾞｰ削減率	[1-{燃料電池燃料供給量÷(一次ｴﾈﾙｷﾞｰ削減量＋燃料電池燃料供給量)}]×100%
		二酸化炭素削減効果	CO_2 削減量
設置家庭	設置家庭	燃料電池の操作性	設置家庭へのアンケート
		経済性	設置家庭の光熱費削減効果（電気、燃料使用料）

*1)　稼働率Ａでは、湯溜り停止時間も稼働率に含む。

3.　平成 21 年度成果のとりまとめ

3.1. 副生水素供給

3.1.1. 水素供給量

水素供給燃料電池 2 台の内部流量計測定データから、水素供給量合計は平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月の 12 か月間で 2,848Nm³となり、また、使用量は 1 台運転月で月平均 119Nm³、1 日平均 3.9Nm³となった。

副生水素の供給量は、株式会社トクヤマの測定値によると、同期間において、2,877Nm³であり、データ差 -1.0%となり、ほぼ一致した。水素供給燃料電池内部の水素流量計の測定精度誤差は約 5%であることから、問題ない精度で内外の測定が実施できていることが確認された。

3.1.2. 水素の安定供給

1 日の水素･窒素ガスの圧力変化を図 3.1 に示す。

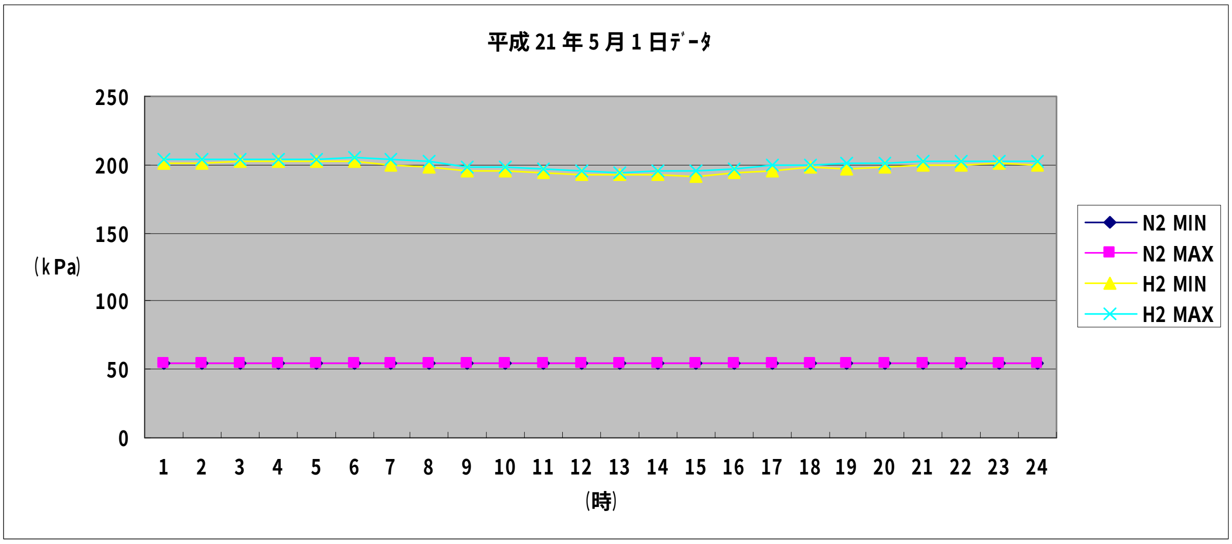

図 3.1　水素・窒素ガスの圧力を計測

① 水素ガス及び窒素ガスの圧力を連続計測しており、4 分間での最大値と最小値のデータを記録したものである。

② 水素ガスの減圧弁の設定圧力は 200kPa であり、1 か月間における 4 分間の最大値データの平均値と最小値データの平均値の差は 1kPa であり、水素ガスの安定供給を確認した。

③ 今年度の水素ガス圧力の最大値は 312kPa で昨年度の 285kPa より高い数値を記録した。これは 4 月に水素供給燃料電池が 2 基とも長時間停止したため、減圧弁の微少リークにより水素配管内圧力が上がったものである。

④　二重管内に窒素ガスを圧力 60kPa で封入している。1 か月間における 4 分間の最大値データの平均値と最小値データの平均値の差はほとんどなく、窒素ガスの漏れはなかった。ただ、窒素ガス圧力は地中温度の影響を受けるので、夏期は若干高くなり、冬期は若干低くなる傾向が認められた。

⑤　水素導管の維持管理については、週に 1 度バルブヤード内の計測機器の指示値を確認すると共に目視による設備点検ならびに埋設導管の路面敷設状況を確認しているが異常は見られなかった。

⑥　月に 1 度漏れ検査液にて各フランジ部分の漏洩検査を実施しているが水素ガスおよび窒素ガスの漏れはなかった。

⑦　水素ガス圧力計、窒素ガス圧力計および水素ガス検知器の点検を実施した結果、異常はなかった。

⑧　緊急遮断弁の作動試験を実施した結果、異常はなかった。

3.2. 水素供給燃料電池の運転状況

[概要]

1 号機は、平成 20 年度夏の設置宅転居に伴う長期停止保管後の運転において、電池特性の低下により運転継続できない状況となったため、移転後の平成 20 年 12 月中旬から停止状態となっていた。

2 号機は、1 号機で確認されたのと同様に、燃料電池発電部での発電反応に使用されなかった余剰水素を処理するための触媒燃焼器出口熱交換器(HEX902)のリークが確認されたため、平成 21 年 3 月 4 日以降、交換機材の手配のため、運転休止状態となっていた。平成 21 年 4 月 28 日、1、2 号機とも燃料電池発電部および触媒燃焼器出口熱交換器を交換し、運転再開とした。

運転は 3 年目に入り、電池本体を交換したことにより、発電運転自体に問題は無くなった。しかし、本事業用に選定した市水流量計(FTM4000)が不調となり水漏れの発生、データの欠落が発生し、一時水素供給燃料電池は運転休止状態となった。

その他、若干のセンサの不調等も発生したが、全体としては安定した運転を継続できた。

平成 22 年 4 月 19 日に 1、2 号機とも、本事業の燃料電池運転を終了した。

3.2.1. 水素供給燃料電池の発電状況

水素供給燃料電池の平成 21 年 4 月～平成 22 年 3 月までの稼動状況を図 3.2-1 に、参考に平成 20 年度の状況を図 3.2-2 に示す。

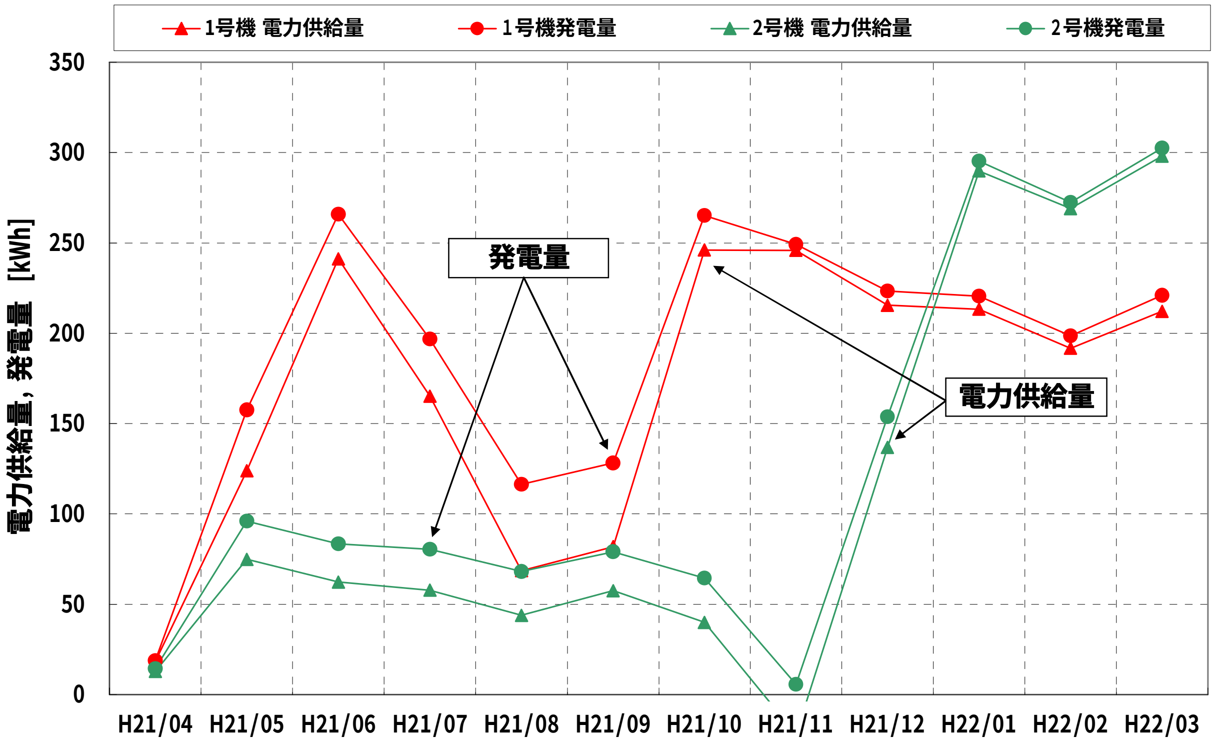

図 3.2-1　水素供給燃料電池稼動状況　(平成 21 年度)

1 号機は、移設後年間を通して安定な運転が得られた。

2 号機は、平成 20 年度は春から冬にかけて発電量が徐々に増加していたが、平成 21 年度は春から夏にかけて発電量が落ち込んだ。しかし冬場には前年度とほぼ同程度まで回復している。

2 号機では、①春から秋にかけての湯溜りによる停止の発生、②燃料電池の発電電力よりも設置宅の消費電力が小さい場合に、外部に電力を逆潮することを防止するための逆潮流防止ヒータ動作、により燃料電池の発電量と燃料電池から設置宅への電力供給量との差異が生じている。12 月以降はお湯の消費量が増え、湯溜りによる停止がほとんど無い運転となったために、燃料電池の発電量と燃料電池から設置宅への電力供給量の値がほぼ等しくなっている。10、11 月は市水流量計の水漏れの影響で燃料電池の運転時間が減少した結果、電力供給量がマイナスとなっている。

詳細については、次項以下に示す。

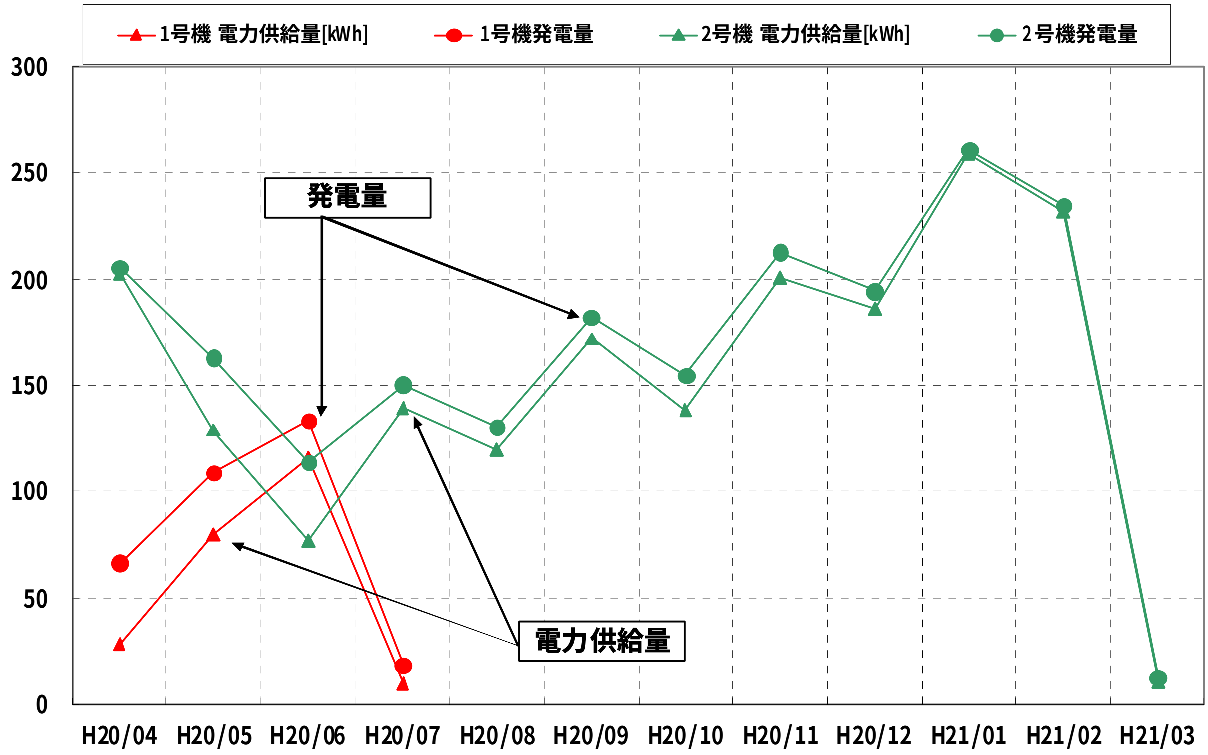

図 3.2-2　水素供給燃料電池稼動状況　(平成 20 年度：参考用)

3.2.2. 稼動状況

1､2 号機の平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月迄の稼働状況を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1　水素供給燃料電池稼動状況

年度累積 H21/04-H22/03	単位	1号機実績	2号機実績
暦時間	[h/年]	8760	8760
燃料電池発電量	[kWh]	2262	1516
燃料電池受電量	[kWh]	79	180
燃料電池燃料供給量	[Nm3]	1720	1128
燃料電池熱回収量	[kWh]	2610	1217
運転可能時間	[h]	8091	8104
運転時間	[h]	6162	3555
発電時間	[h]	6150	3517
燃料電池電力供給量	[kWh]	2024	1321
燃料電池湯供給量	[kWh]	1775	701
設置家庭への湯供給量	[L]	77939	75071
設置宅受電点電力量	[kWh]	3678	4508
熱回収効率	[%HHV]	42.8	30.5
1次ｴﾈﾙｷﾞｰ削減量	[ＭＪ]	10016	4231
CO2削減量	[ｋｇ-CO2]	1734	1021
稼働率Ａ(注1)	[%]	98	89
稼働率Ｂ(注2)	[%]	76	43
平均発電出力	[W]	368	431
平均発電効率	[%HHV]	35.8	33.4
電力需要寄与率 (注3)	[%]	35.5	22.7
故障停止時間	[h]	152	894

（注１）稼働率Ａ(%)= ｛(運転可能時間－故障停止時間)／運転可能時間｝ ×100
（注２）稼働率Ｂ(%)=（発電時間／運転可能時間）×100
（注３）電力需要寄与率(%)= ｛燃料電池電力供給量
／(設置者宅受電点電力量+燃料電池電力供給量)｝ ×100

・1 号機：　暦時間 8,760h，運転可能時間 8,091h に対し、発電時間は 6,150h であった。運転可能時間に対する発電時間の割合を示す稼働率(稼働率 B)は 76%、発電平均出力は 368W であった。
・2 号機：　暦時間 8,760h，運転可能時間 8,104h に対し、発電時間は 3,517h であった。運転可能時間に対する発電時間の割合を示す稼働率(稼働率 B)は 43%、発電平均出力は 431W であった。
　前述の通り、市水流量計の水漏れトラブルの影響で、発電時間の短縮と稼働率の低下に至った。

・故障等の発生状況については後述するが、故障停止時間は、
1 号機　152h、2 号機　894h　であった。
・故障以外の運転可能時間短縮の要因は、次のとおり。
① 21 年度初期のプラント復旧前停止期間
1 号機　4/1～4/27：648 時間
2 号機　4/1～4/28：661 時間
② 水素供給系定期点検　　5/12：8.5 時間（1、2 号機共通）

・電力需要寄与率：

１号機設置者宅に比べ、２号機設置者宅の総電力需要は 20%程度多かった。

しかし、２号機は 1 号機に比べて、平均発電出力は約 20%高いが、稼働率が低いことから、電力需要寄与率は 1 号機の 35.5%に対して、２号機では 22.7%にとどまっている。

3.2.3. 水素供給燃料電池の性能

平成21年4月～平成22年3月の期間のシステム関連性能を表3.2-2に示す。

表3.2-2　水素供給燃料電池システム性能

年度累積　H21/04-H22/03	単位	1号機実績	2号機実績
平均発電出力	[W]	368	431
平均発電効率	[%HHV]	35.8	33.4
平均熱回収効率	[%HHV]	42.8	30.5

「3.4 季節変動、夏期・冬期の運転状況」で示すように発電効率、熱回収効率とも、時期により多少の変動が生じており、総合効率も一定ではない。

図3.2-3に、1、2号機の電池特性の経時変化を示す。

触媒燃焼器出口熱交換器(HEX902)にて、製造不良に起因すると推測される排熱回収系の市水のリークが発生し、この市水が電池冷却水に混入した。電池冷却水は純水を使用しているが、市水中の各種のイオン等により電池冷却水の水質が低下し、これにより電池特性が低下、運転が不可能となったと考えられるため、当該熱交換器を改良品に交換し、併せて電池本体も交換した。

図3.2-3は、この電池本体交換後の起動から運転終了まで、１号機で約6,000時間、２号機で約3,500時間の運転について示したものであるが、電池電圧の低下はなく、上述の触媒燃焼器出口熱交換器(HEX902)のリークに対する対策が適切であったことが確認できた。

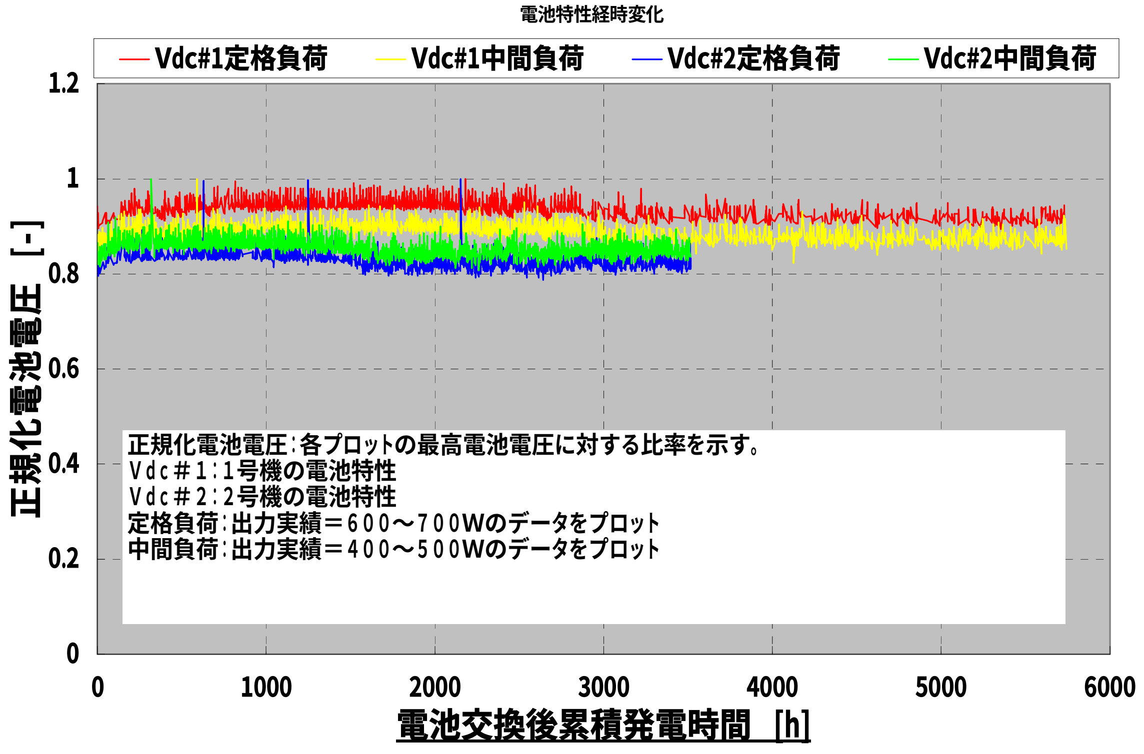

図 3.2-3　電池特性経時変化

3.3. トラブルの発生状況と改善対策

平成 21 年度の運転期間中に発生した主なトラブルの発生状況と改善対策について表 3.3 に、トラブルの発生場所を図 3.3 に示す。

表 3.3　トラブルの発生状況と改善対策

トラブル事象	トラブル発生場所 (図 3.3 参照)	原因／対策	対策完了
市水流量計 データ欠落	１号機 市水流量計(1)	・原因：断線 ・移設当初、配線接続漏れがあり、配線接続後、数週間してデータ欠落が発生。現地調査を行ったところ、配線が端子部で断線していた。	配線を新品に交換、配線敷設方法修正
市水流量計 リーク	２号機 市水流量計(1)	・原因：不明 ・メーカー見解では、取付ラインで水撃*)現象が発生した可能性があるとのこと。	流量計交換
逆潮防止 ヒータ 不動作	２号機 逆潮防止ヒータ (2)	・原因：ヒータ保護用の温度フューズの断線 ・温度フューズの取付方法に問題があり、配線に応力がかかり断線に至ったもの。改質型燃料電池機で発生した同種トラブルへの対策の水平展開が不十分であった。	温度フューズ取付方法の改善

*)「水撃」　（機械工学便覧　Ａ．基礎編　Ｂ．応用編　新版３刷）

「管路内を流れている液体を管路途中あるいは末端に設けられている弁などを急閉することによりせき止めると、弁直前の圧力が急上昇し波動となって管路中に伝わる、この現象を水撃（water hammer）という」

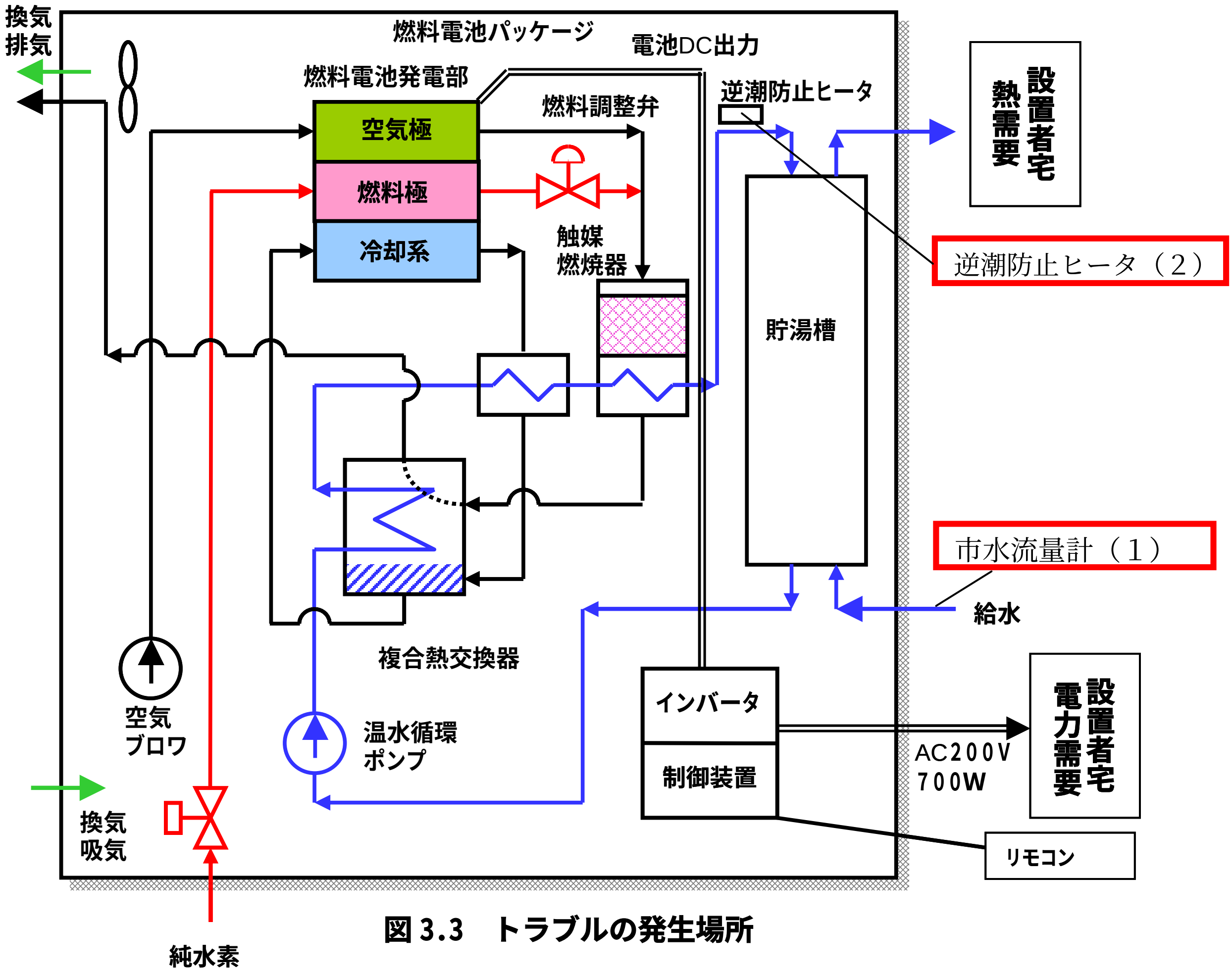

図 3.3　トラブルの発生場所

なお、「逆潮防止ヒータ不動作」では、温度フューズが断線したため、実際には逆潮防止ヒータには通電されず、電力を消費していないにも関らず、データ上は「逆潮防止ヒータ投入量」に投入電力量として積算された。

したがって、トラブルの発生していた 1 号機の 5、6 月のデータ、2 号機の 10 月のデータを至近のデータにより仮定した。

3.4. 季節変動、夏期・冬期の運転状況

1 号機の夏場（7 月）の実績（出力実績）と運転状態（湯溜り停止，故障中、発電中）を図 3.4-1 に、冬場（12 月）について図 3.4-2 に示した。

出力実績は、1 分間隔で 1 週間分のデータをプロットしたものである。

運転状態は、図 3.4-1、3.4-2 の右縦軸にて 1000：発電運転中、900：湯溜り停止中、800：故障停止中として各々示す。

1 号機では、夏場は冬場と比較すると、運転状態のグラフが「発電」を示す部分が少なく、そのため発電運転の比率が低く、一方、冬場はほとんど連続発電運転状態となっている。各月の稼働率（B)は、7 月 55%に対し 12 月 99.9%であることを確認した。また、燃料電池の発電出力を示す出力実績は、夏場は冬場と比較して発電出力が高めであることを確認した。

数値的には、7 月の平均出力 491W に対し、12 月は 300W であった。夏場はお湯の消費が少ないことから湯溜りが発生し、そのため燃料電池の停止時間が長くなっているが、この時期は家庭で、電力消費の多いエアコンなどを使用しているため、燃料電池が発電した場合には出力が高くなっているものと考えられる。

1 号機と同様に、2 号機の夏場（7 月）の実績と運転状態を図 3.4-3 に、冬場（12 月）について図 3.4-4 に示した。

2 号機においても、1 号機と同様の傾向が認められるが、冬場の湯溜り停止時間帯が、1 号機に比べ多いことが分かる。各月の稼働率（B)は、7 月 24%に対し 12 月 52%であった。

出力実績は、夏場は冬場と比較して発電出力が若干高めで、7 月の平均出力 433W に対し、12 月は 394W であった。

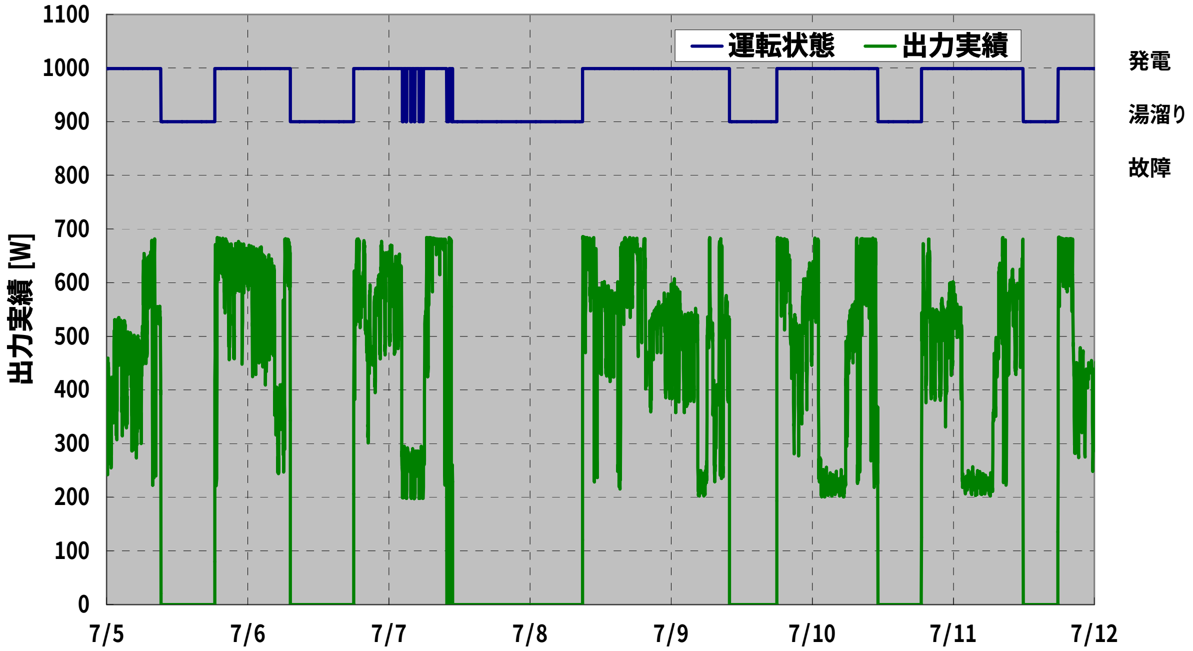

図 3.4-1　1号機　平成21年7月　運転状態（1週間分）

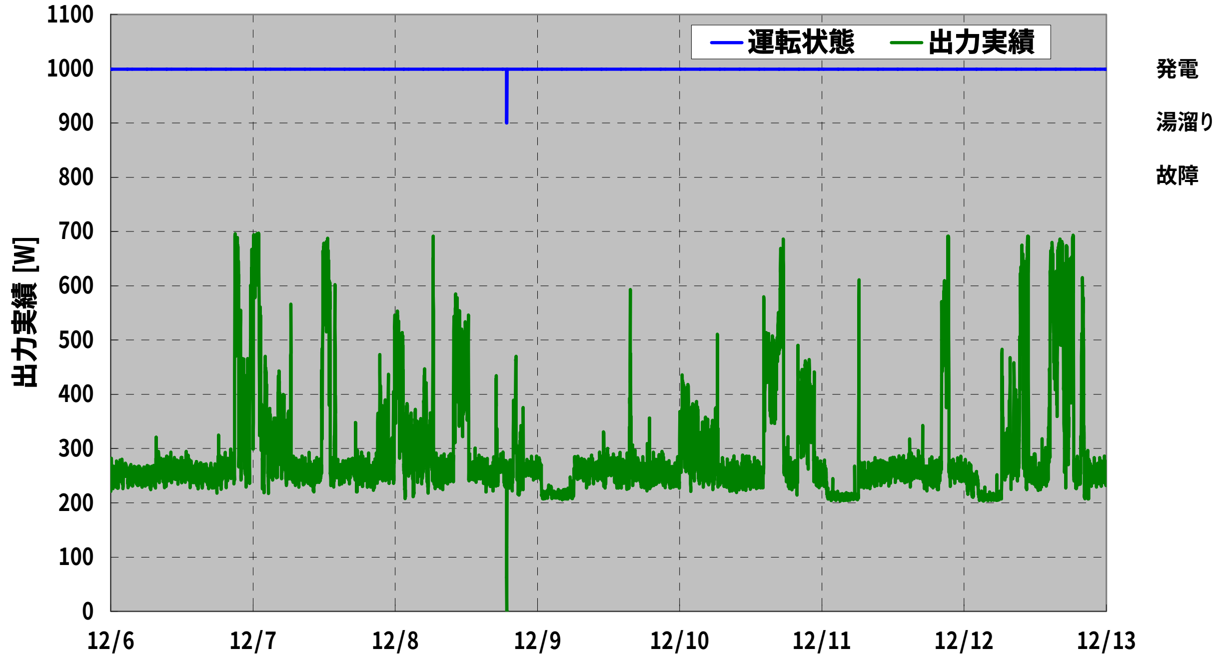

図 3.4-2　1号機　平成21年12月　運転状況（1週間分）

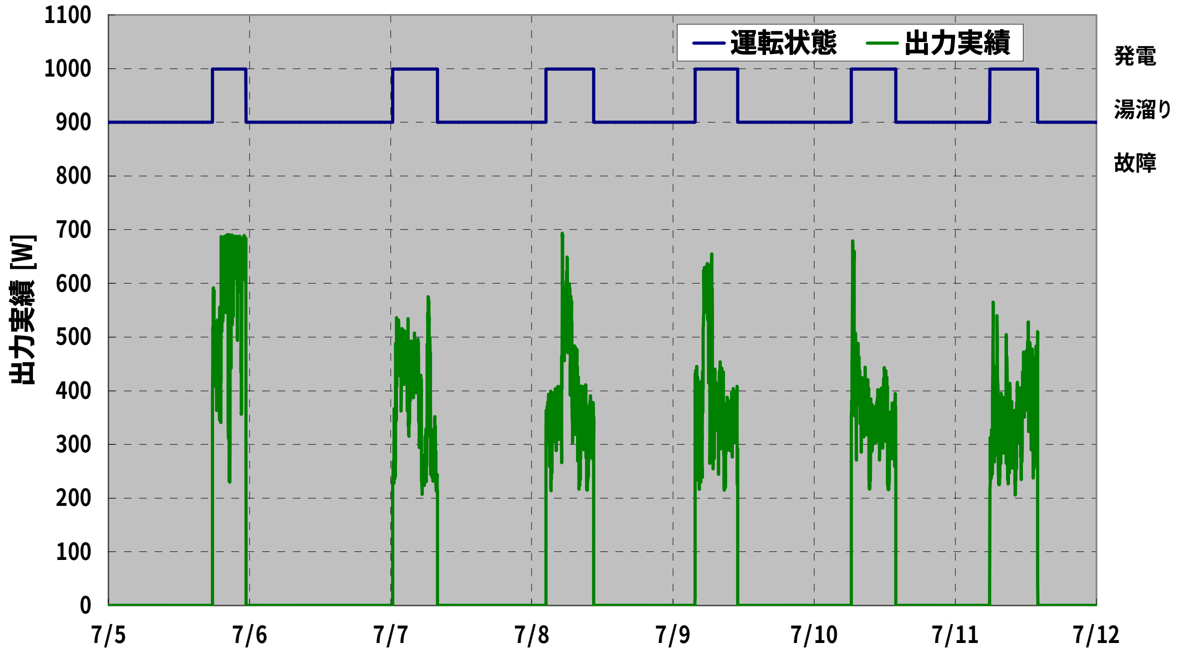

図 3.4-3　　2号機　平成21年7月　運転状態（1週間分）

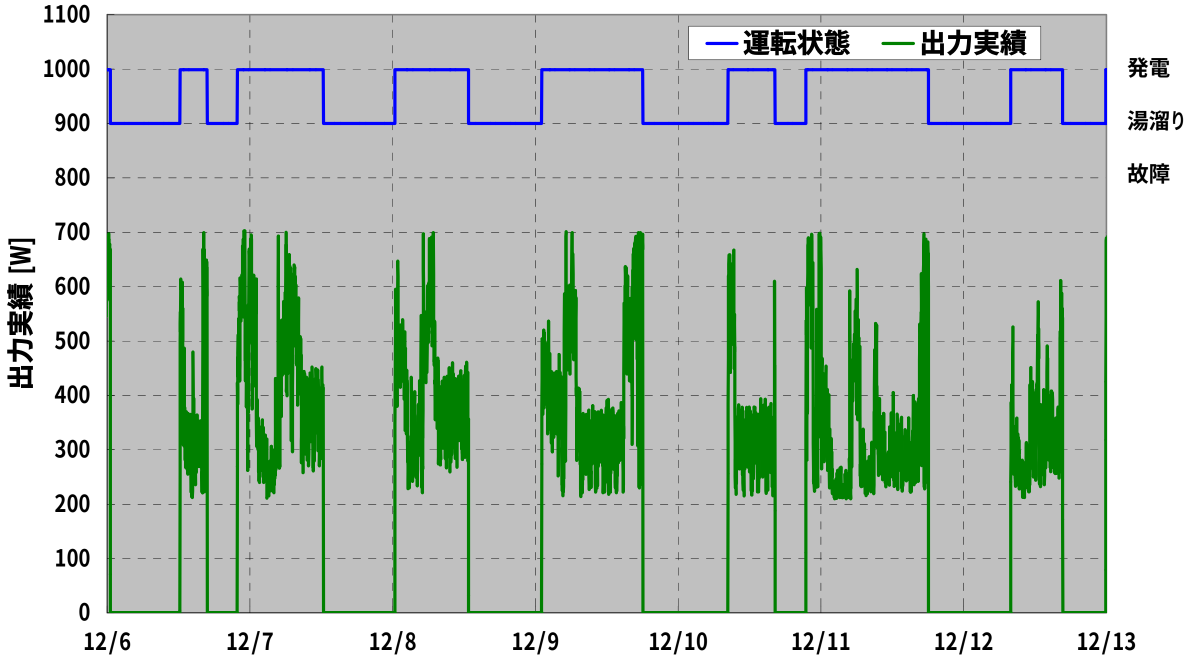

図 3.4-4　　2号機　平成21年12月　運転状況（1週間分）

設置宅の電力需要（出力実績(燃料電池からの供給電力)＋受電点電力）に対する出力実績(燃料電池からの供給電力）を図に示す。

図 3.4-5 に 1 号機の夏場（7 月)、図 3.4-6 に冬場（12 月)、同じく図 3.4-7 に 2 号機の夏場（7 月)、3.4-8 に冬場（12 月）の状態を示した。

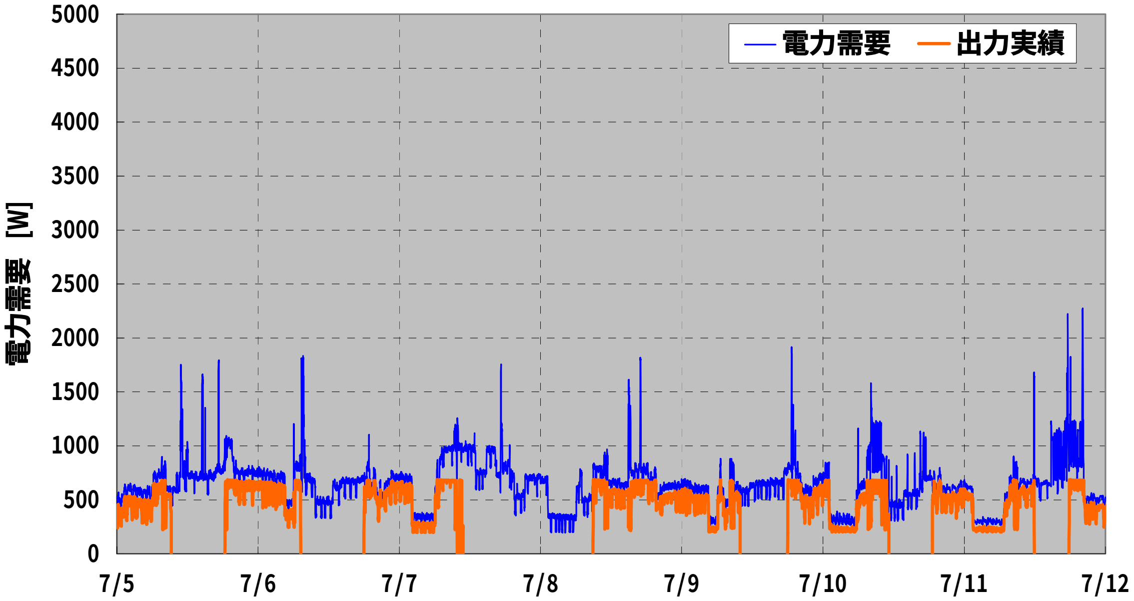

図 3.4-5　1号機　平成21年7月　宅内負荷供給状況（1週間分）

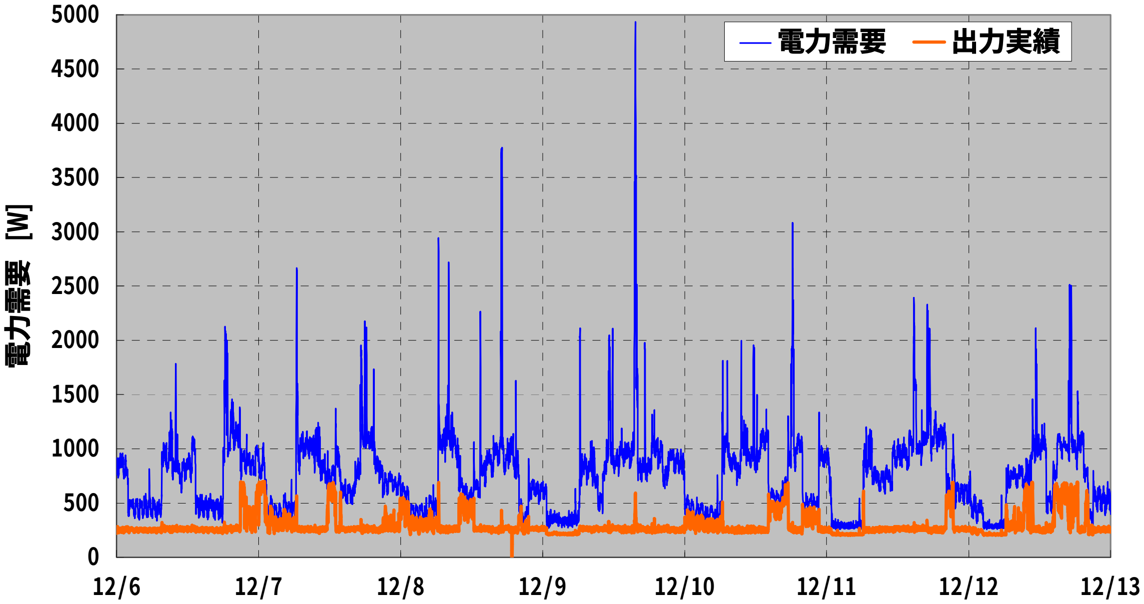

図 3.4-6　1号機　平成21年12月　宅内負荷供給状況（1週間分）

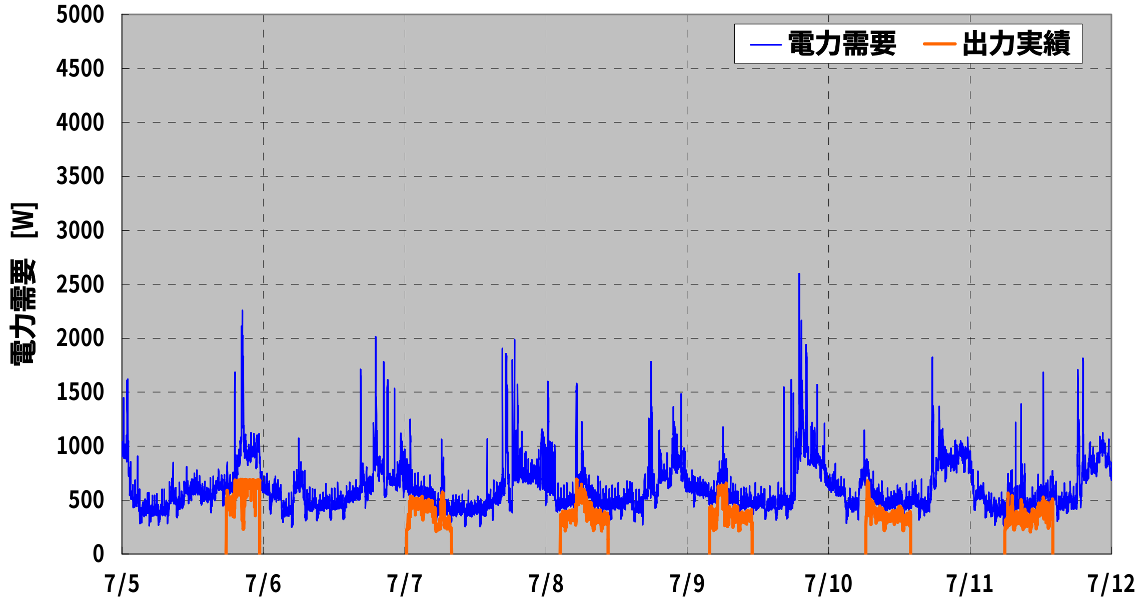

図 3.4-7　2号機　平成21年7月　宅内負荷供給状況（1週間分）

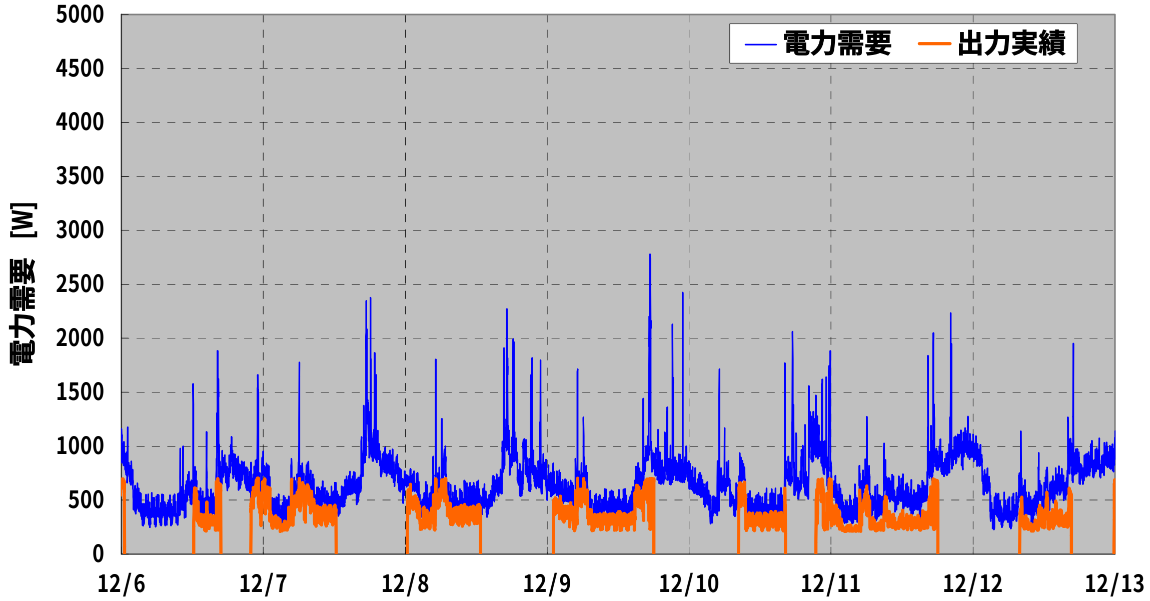

図 3.4-8　2号機　平成21年12月　宅内負荷供給状況（1週間分）

図 3.4-5、4-6、4-7、4-8 より、1、2 号機とも、燃料電池の定格出力：700W に満たない低い電力需要にもかかわらず、夏場は湯溜り停止により発電しないので、燃料電池で電気を賄えていない部分が認められる。

冬場については、1 号機では湯溜り停止はほとんどなくなるが、出力実績(燃料電池からの供給電力)が低めであり、燃料電池で電力需要を賄いきれていない部分が認められる。2 号機の冬場の状況は、夏場と大きな差異はなく、湯溜り停止の時間が夏場に比べ短くなっている。

電力需要を賄いきれていない原因は、燃料電池の負荷上昇速度に比べて、宅内負荷の変動が急峻であるために、電力需要の増加に燃料電池の負荷上昇が追従できないことにあると推測される。負荷下降速度は、宅内負荷の変動とほぼ同等であるため、負荷が低減した場合には燃料電池の出力実績も瞬時に低減されることから、平均的には燃料電池の出力実績は宅内負荷に対して低めとなると考えられる。燃料電池の負荷上昇速度をさらに高速化することにより、燃料電池で発電した電力を家庭で利用できる電力量が増えると考えられるため、燃料電池発電部やインバータへの影響を検証しつつ、改善していきたい。

3.5. 省エネ性（一次エネルギー削減量、運転状況による影響）

平成 21 年 4 月～平成 22 年 3 月の期間の一次エネルギー削減効果を表 3.5 に示す。

一次エネルギー削減量は、1 台当りの月平均は(891+376)/2=634MJ/1 台/月となった。1 年間分に換算すると、634×12＝7,608MJ/1 台/年となる。

但し、燃料電池として運転状態がよかった 1 号機のみについて見ると、1 年間の一次エネルギー削減量は、10,016MJ/1 台/年であり、1 台当りの月平均は 891MJ/1 台/月となる。

表 3.5　一次エネルギー削減効果

年度累積 H21/04-H22/03		1号機	2号機	合計
一次エネルギー削減量	MJ	10016	4231	14247
月平均	MJ/月	891	376	1267

＊月平均については、1 年間の一次エネルギー削減量を、運転可能時間
1 号機：8091ｈ÷(30 日×24 時間)　11.24 月
2 号機：8104ｈ÷(30 日×24 時間)　11.26 月
で割った数値としている。

算出に当たり、以下の条件を用いた。

1)水素供給燃料電池の発電出力：実機の運転データによる。

2)水素供給燃料電池の熱出力：実機の負荷特性（発電効率に対する熱回収効率の特性）

財団法人　新エネルギー財団(以下、NEF)のホームページ
(http://happyfc.nef.or.jp/topics/pdf/200704203.pdf)より、「平成 18 年度設置サイトの運転評価データについて」を参照し、一次エネルギー削減量の分布を引用したものを図 3.5 に示し、水素供給燃料電池の運転状況を比較した。

図中に水素供給燃料電池の平成 21 年 4 月から 22 年 3 月までの平均化した運転点を青丸印で示した。併せて平成 19 年度の 2 号機の平均運転点を黒丸で、平成

20 年度の 2 号機の平均運転点を赤丸で示した。

1 号機の平成 21 年度の一次エネルギー削減量は、都市ガスまたは LP ガスで試験された平成 18 年度の家庭用燃料電池の大規模実証機のデータの集まりに対して、ほぼ中央右側に位置することから、電気利用効率は高め、一次エネルギー削減量は平均値とほぼ同じ値となった。

2 号機については、平成 19 年度、20 年度とも大規模実証機のデータの平均値とほぼ同じであったが、平成 21 年度の値は大規模実証機の値の束の左下寄りとなっている。これは温水の使用量が従来に比して低減しており、そのために湯溜りによる停止時間が長くなるとともに、貯湯槽などからの放熱によるエネルギーロスが増加したことが直接の原因と考えられる。

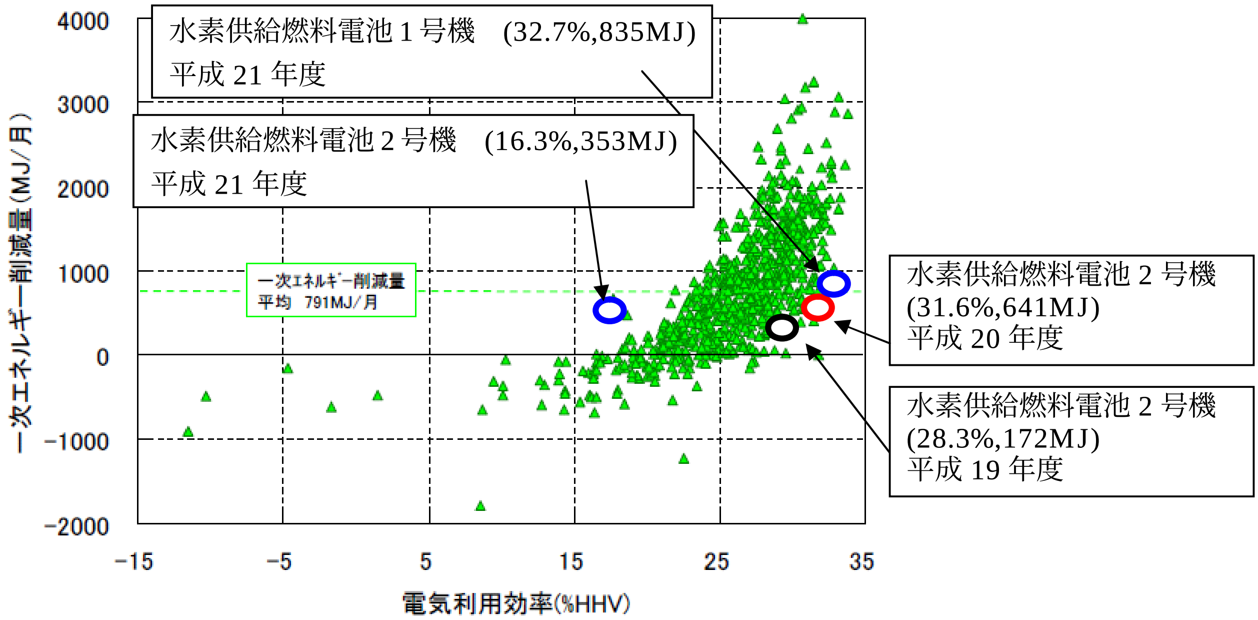

図 3.5 1次エネルギー削減量の分布

(http://happyfc.nef.or.jp/topics/pdf/200704203.pdf より)

3.6. 環境性（二酸化炭素削減量、運転状況による影響）

平成 21 年 4 月～平成 22 年 3 月の期間の二酸化炭素排出量削減効果を表 3.6-1 に示す。

なお、当該期間で 1 台あたりの月平均の二酸化炭素削減量は（154+91）/2＝約 123kg-CO_2 となり、1 年間(12 か月)に換算すると、123/1000×12＝1.476t-CO_2/1 台/年の削減と推定される。

この値は目標値（5.6t-CO_2/2 台/年=2.8t-CO_2/1 台/年）の 53%の結果となった。

これは実際の運転における燃料電池の平均出力が約 50%、平均稼働率が約 58%であったことが主要因である。燃料電池設置宅の電力消費量が当初の想定よりも低く、しかも夏場はお湯の消費が少なく湯溜りが起こり、そのため燃料電池の停止時間が長くなり、平均出力、平均稼働率とも低い値となった。

ただし、運転稼働率の高かった 1 号機のみについて見ると、月平均の二酸化炭

素削減量は、154kg-CO_2であり、1年間の二酸化炭素削減量は1.734t-CO_2 となり、目標値に対し、1.734/2.8＝約62%となる。

表3.6-1　二酸化炭素排出量削減効果

年度累積　H21/04-H22/03		1号機	2号機	合計
CO2削減量	[kg-CO2]	1,734	1,021	2,755
月平均	[kg-CO2/月]	154	91	245

＊月平均については、P24 表3.5「一次エネルギー削減効果」と同様の計算方法を用いた。

[「水素タウンモデル事業計画書」における二酸化炭素削減効果予測：5.6t-CO_2の算出根拠]

1. 計算の前提条件
・本システムはソーダ工場の副生水素を活用することから、算定の際、水素発生時の二酸化炭素量を考慮しないこととし、燃料電池の発電により得られる電気と熱（給湯）に係るエネルギーから、商用電力受電量を差し引き、省エネルギー効果として二酸化炭素排出削減量とした。
・年間の0.7kW発電時間数＝365日×24時間×59.4%＝5203 [h/年]
平成 17 年度地球温暖化対策技術開発事業における定格発電時間が年間の暦時間の 59.4%であったことによる。
・燃料電池の補機等使用電力：123.5kWh／年・台
上記、環境省委託事業における補機等の使用電力が68.1kWhであったことによる。
・既存熱供給システム：都市ガス使用　2軒
2. 粗CO_2削減量
・発電に係る省エネルギー効果：0.7kW/台×2台×5,203 h/年＝7,284 kWh/年
・熱に係る省エネルギー効果：0.7kW/台÷0.78×0.08759m^3/kWh×2台×5,203h＝817m^3
給湯器の熱効率=78%，都市ガス(13A)発熱量=1/0.08759kWh/m^3
・粗CO_2削減量：7,284kWh/年×0.555kg-CO_2/kWh＋817m^3×2.080kg-CO_2/m^3＝5.741t-CO_2/年
3. CO_2発生量
・燃料電池の補機等のCO_2排出量：123.5kWh/年・台×2台×0.555kg-CO_2/kWh
＝0.137t-CO_2/年
4. CO_2削減量＝（粗CO_2削減量）－（CO_2発生量）＝5.741-0.137＝5.6t-CO_2/年

NEFのホームページより、「平成18年度設置サイトの運転評価データについて」を参照し、CO_2削減量の分布を引用したものを図 3.6 に示し、水素供給燃料電池の運転状況を比較した。

図中に水素供給燃料電池の平成21年4月から22年3月までの平均化した運転点を青丸印で示した。

平成21年度の1号機は、都市ガスまたはLPガスで試験された平成18年度の家庭用燃料電池の大規模実証機のデータの平均値よりも高く、平成20年度の2号機とほぼ同じ位置にプロットされ、二酸化炭素削減量が多いことを示している。

平成21年度の2号機は、大規模実証機のデータ平均値とほぼ同じ位置にプロッ

トされており、平成19年度、20年度の2号機のデータと比べて二酸化炭素削減量が少なくなっている。

　これは、前節の省エネ性に関して述べたのと同様、温水の使用量が従来に比べて低減しており、そのために湯溜り停止時間が長くなるとともに、放熱によるエネルギーロスが直接の原因と考えられる。

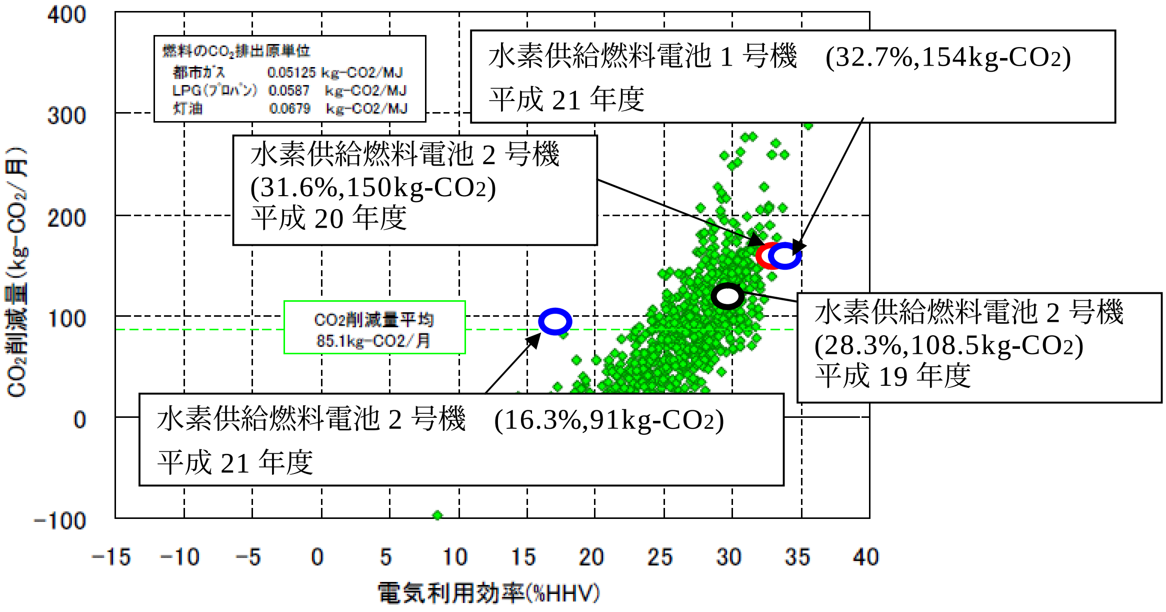

図3.6　CO2削減量の分布

（http://happyfc.nef.or.jp/topics/pdf/200704203.pdf　より）

＜CO_2削減量の実績の検証＞

　平成21年度、月平均の二酸化炭素削減量の多かった1号機の運転実績値に基づき、本事業開始時の設計データとの比較を行った。

表3.6-2　運転実績値と計画値との比較

	実績値（1号機）	計画値
燃料電池発電量	2262 kWh/年	3642 kWh/年
燃料電池受電量	79 kWh/年	
逆潮防止ヒータ投入量	166 kWh/年	
逆潮電力量	-7.5 kWh/年	
燃料電池熱回収量	2610 kWh/年	3642 kWh/年
稼 働 率	76%（稼働率(B)）	59.4 % *1)
暦 時 間	8760 h	8760 h
運転可能時間	8091 h	8760 h
平均発電出力	368/700＝0.53	700W/700W＝1.0

*1）既出、平成17年度地球温暖化対策技術開発事業（山口県）における定格発電時間

＜実績値からの二酸化炭素削減量の計算＞

◎1 号機の二酸化炭素削減量

燃料電池が発電した電力のうち、家庭で利用した電力①は

①＝(燃料電池発電量)－(燃料電池受電量)－(逆潮防止ヒータ投入量)
　　－(逆潮電力量)

＝2262－79－166－(－7.5)

＝2024.5 kWh/年

電力の二酸化炭素原単位②は

②＝0.555 kg-CO_2/kWh

したがって燃料電池で発電した電力に相当する二酸化炭素量③は

③＝①×②

＝2024.5 × 0.555

＝1123.6 kg-CO_2/年

この③が燃料電池の発電による二酸化炭素削減量に相当する。

また、発電と同時に発生する熱が、ガス給湯器で作られたと想定して二酸化炭素発生量を計算する。

燃料電池で作られた熱：④＝2610 kWh/年

ガス給湯器の効率　　：⑤＝78 ％　(大規模実証事業の計算条件)

都市ガス発熱量の kWh 換算：⑥＝0.08759 m^3/kWh

燃料電池で作られた熱をガス給湯器で作った場合の都市ガス量⑦は

⑦＝④÷⑤×⑥

＝293.1 m^3/年

都市ガスの二酸化炭素原単位

⑧＝2.080 kg-CO_2/m^3

燃料電池で作られた熱に相当する二酸化炭素量⑨は

⑨＝⑦×⑧

＝293.1 × 2.080

＝609.6 kg-CO_2/年

これにより燃料燃電池で作られた、電力と熱から出てきた二酸化炭素は

③＋⑨＝1123.6 ＋ 609.6

＝1733.2

1733 kg-CO_2/年

燃料電池の燃料は水素であり、この二酸化炭素を発生しない燃料から電力と熱を作ることができる。

本来電力会社の系統からの電力と都市ガス給湯器からの熱を使うことに比べ、1733kg-CO_2/年の二酸化炭素を削減できたことになる。

＜計画時の二酸化炭素削減量との比較＞

当初計画時に設定した燃料電池の稼働率や運転時間、平均出力(負荷)により計算した二酸化炭素の削減量と、実績の二酸化炭素削減量を比例計算で比較する。

［条件］

・稼働率　：燃料電池の稼働率が高いほど、発電電力量と発生熱量が多くなることから二酸化炭素の削減量は大きくなる。

・運転時間：燃料電池の運転時間が長くなるほど、発電電力量と発生熱量が多くなることから二酸化炭素の削減量は大きくなる。

・平均出力(負荷)：燃料電池の負荷が高いほど、発電電力量と発生熱量が多くなることから二酸化炭素の削減量は大きくなる。

［計画値と実績値の比較］

計画時の条件と１号機の実運転条件との差異を比例計算で補正すると

$$(\text{二酸化炭素削減量:実績}) \times \frac{(\text{計画稼働率})}{(\text{実績稼働率})} \times \frac{(\text{計画運転時間})}{(\text{実績運転時間})} \times \frac{(\text{計画平均発電出力})}{(\text{実績平均発電出力})}$$

＝1733.2kg-CO_2/年×（59.4%/76.0%）×（8760h/8091h）×{1.0/（368/700）}

＝2789.8kg-CO_2/年

2790　kg-CO_2/年

（補正後二酸化炭素削減量）÷（計画二酸化炭素削減量）

＝2790 kg-CO_2/年 ÷ 2800 kg-CO_2/年

＝99.6 ％

１号機の実運転条件における二酸化炭素削減量のデータと設計時の二酸化炭素削減量算出時の条件との差異を補正すると、計画時の二酸化炭素削減量が達成できていることが確認できた。

3.7. 燃料電池の特徴（改質タイプ燃料電池との性能比較）

改質型燃料電池と水素供給燃料電池の主要特性についての比較を表 3.7 に示す。

なお比較内容については、一般的な情報として示しており、特定のメーカー品を示すものではない。

表 3.7　水素供給燃料電池と改質型燃料電池との比較

	改質型燃料電池	水素供給燃料電池
１．運転性能 発電/熱回収効率	３７／４８　[%LHV]	５０／３８[%LHV]
２．負荷変化性能 負荷変化速度	負荷増減とも 約１００[W/分]	負荷増減とも 約１０００[W/分]
３．起動性能 起動時間 起動ロス	冷起動*1)　約５０分 暖起動*2)　約３０分 約１kWh	冷起動*1)　約５分 暖起動*2)　約３分 約２０Wh
４．燃料 燃料種 入手性	都市ガス、ＬＰＧ、灯油 容易	水素(99.99%以上) 困難
５．運用	負荷追従、学習制御	負荷追従

＊1) 冷起動：長時間の停止状態等により、システムの温度が大気温度近くまで低下した状態から起動する場合。

＊2) 暖起動：運転停止後、短時間での再起動等、システムの温度が運転状態に近い状態から起動する場合。

両者の主要な差異は、改質系の有無に集約される。これに起因する相違点として、次のような項目が挙げられる。

1.　水素供給燃料電池には、改質系がないため、改質型燃料電池の改質効率(一般的に 85～90%)を 100%としたことに等しく、高い発電効率を得やすい。

2.　改質型燃料電池において、負荷変化の制約要因のひとつとなる改質系の負荷追従性にとらわれないため、水素供給燃料電池では比較的良い負荷追従性が得られる。
（今回設置している水素供給燃料電池では、負荷低減：700W 瞬時、負荷上昇は 600[W/分]が標準負荷変化速度である。）

3.　水素供給燃料電池では、改質型燃料電池において起動時間の大半を占める改質系の昇温が不要なため、起動時間が短い。
（今回設置している水素供給燃料電池では、約 5 分程度で起動可能であり、かつ起動ロスも大幅に少ない。）

4．　改質型燃料電池においては、改質系昇温のための電気ヒータ用電力や、燃料が必要であるが、水素供給燃料電池ではこれらは不要である。

　改質系が無いため昇温の対象となる部分の熱容量*3)が大幅に低減されている。

（今回設置している水素供給燃料電池では、燃料電池燃料極出口ガス処理用の触媒燃焼器の昇温のみ電気ヒータで行っている。）

5．　水素供給元から、水素供給燃料電池の設置箇所までのインフラ整備が必要であるため、インフラの整備されている都市ガスやＬＰガスで運転可能な改質型燃料電池に比べて、設置箇所が限定される。

*3)熱容量：比熱×質量で示され、与えた熱量とそれに伴う温度変化の関係を示す。
温度変化＝与えた熱量/熱容量

4.　平成21年度のまとめ

平成21年度の成果について、以下にまとめを示す。

(1)　年間 CO_2 削減量目標 5.6t-CO_2/2 台/年＝2.8t-CO_2/1 台/年に対し、2.79t-CO_2/1台/年であった。

1 号機の実績は 1.73t-CO_2/年であった。これは、実際の運転における燃料電池の平均出力が 53%、発電時間に対応する稼働率Ｂが約 76%であったことが主要因である。

ただし、本事業開始時の計画データとの条件の差異を考慮して比較すると、設計時の二酸化炭素削減量をほぼ達成できていることが確認できた。

なお、2 号機の実績は 1.02t-CO_2/年であり、昨年までの実績値と比べ、低い数値となっている。

これは平成19、20年度と比べ、設置家庭での温水の使用量が低減しており、そのため湯溜りによる停止時間が長くなり発電量が減ってしまったのと同時に、停止時間が長くなったことにより貯湯槽等からの放熱が増加したことが原因と考えられる。

(2)　２台あわせた年間の一次エネルギー削減量は、14,247MJ/2台/年であった。

1号機の年間一次エネルギー削減量は、10,016MJ/1台/年であった。

これは前項同様、平均出力が約53%、発電時間に対応する稼働率Ｂが約76%であったことに起因する。

また2号機の年間一次エネルギー削減量は、4,231MJ/1台/年であった。

これも前項(1)と同様の理由によるものである。

(3)　２台合わせた年間水素供給量は2,877Nm^3であった。

供給元の水素供給量の測定データと、燃料電池側での水素受入量の測定データの一致が確認され、安全に安定した水素供給が達成できた。

(4)　設置者宅の電気、熱の使用状況のデータを得て、設置家庭における水素供給燃料電池活用状況を確認できた。

(5)　水素ガスの供給圧力は、4分間最大値平均と最小値平均との差が1kPa以内で、継続して水素ガスの安定供給ができた。

(6)　水素導管及び各フランジ部分等の健全性確認、水素ガス・窒素ガス圧力計、水素ガス検知器、緊急遮断弁等機器の点検を実施し、水素供給設備に問題がないことを確認、水素供給設備の安全性が確認できた。

5.　事業総括

5.1. 水素供給燃料電池の発電状況

平成 19 年度から 21 年度迄の稼働状況を図 5.1-1～5.1-3 に示す。

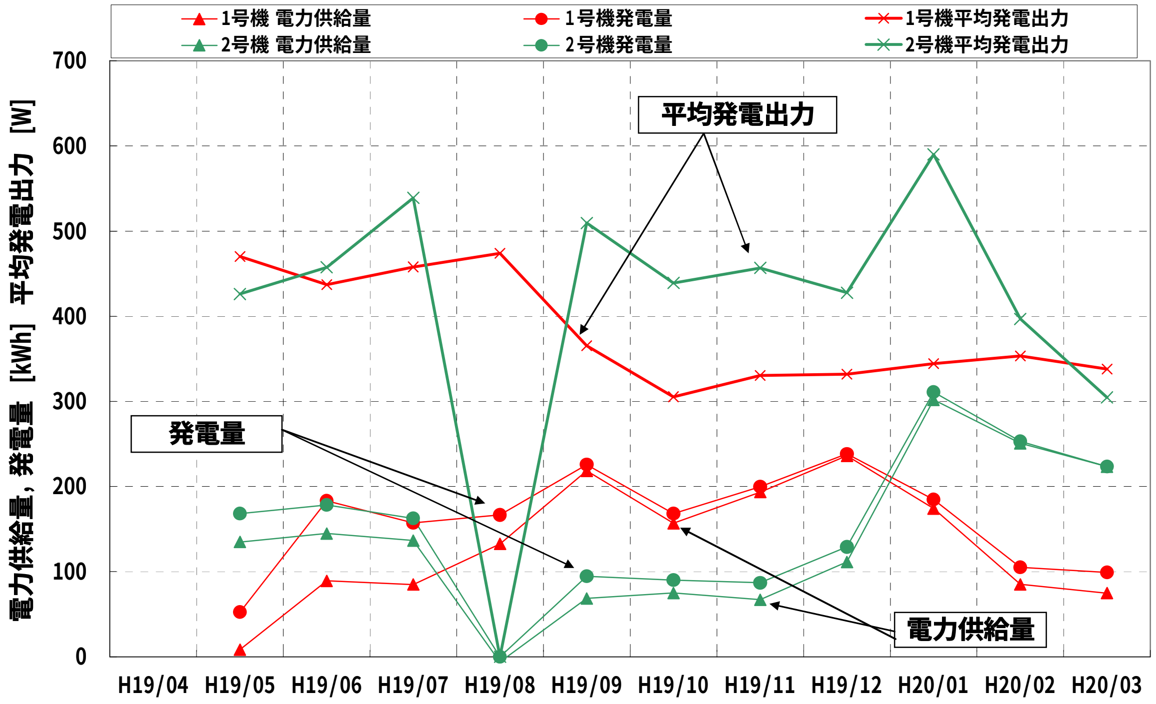

図 5.1-1　水素供給燃料電池稼働状況　（平成１９年度）

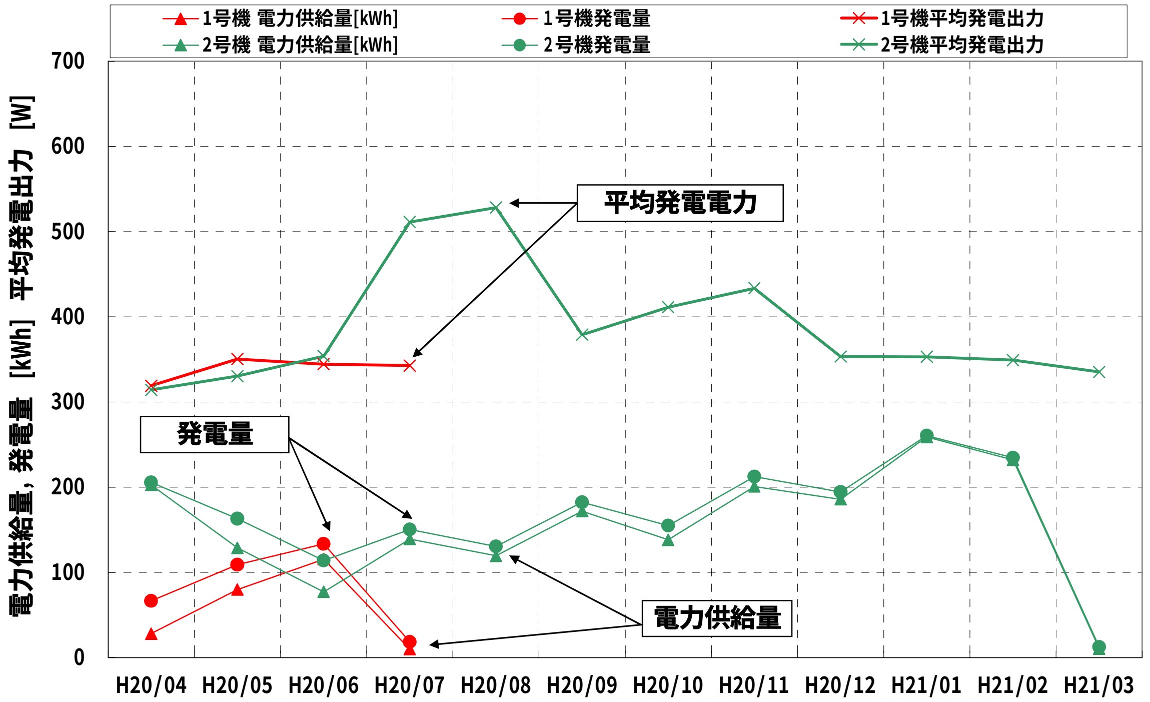

図 5.1-2　水素供給燃料電池稼働状況　（平成２０年度）

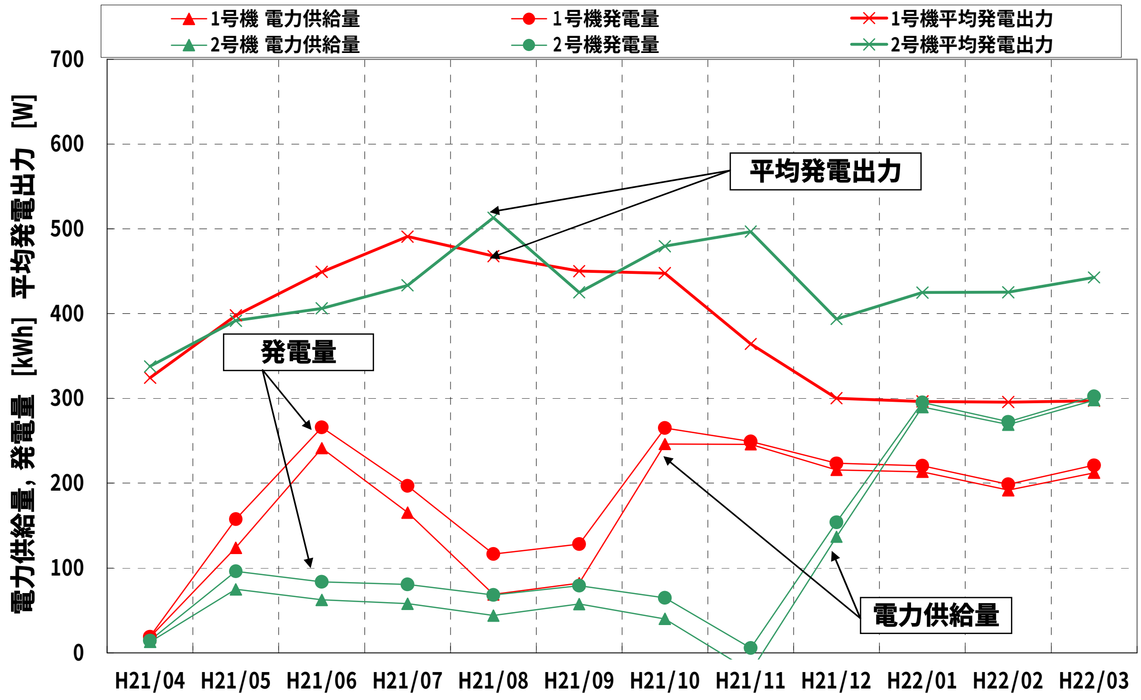

図 5.1-3　水素供給燃料電池稼働状況　（平成２１年度）

[３年間の稼動状況]

- **設置者宅の条件、季節により変動はあるが、トラブルの発生が無ければ、水素供給燃料電池は、平均出力は約 350～500W、1 か月当り 300kWh 程度の電力を供給することが可能であることが確認できた。**
- **夏場は電力需要は高いが、温水需要が低いために水素供給燃料電池において湯溜り停止が発生することから、電力需要の割りには電力供給量が増えていないことを確認した。**
- **なお、最終的に水素供給燃料電池運転終了時における累積発電時間は、**
  1 号機：12,501 時間、　2 号機：13,601 時間
  であった。

5.2. 省エネ性

5.2.1. 省エネ性（一次エネルギー削減量）

平成 19 年度から 21 年度までの省エネ状況を表 5.1-1～5.1-3 に示す。

表 5.1-1　水素供給燃料電池省エネ性　（平成１９年度）

年度累積　H19/05-H20/03		1号機	2号機	合計
一次エネルギー削減量	MJ	1409	2365	3774
月平均	MJ/月	128	215	343

表 5.1-2　水素供給燃料電池省エネ性　（平成２０年度）

年度累積 H20/04-H21/03		1号機 *1	2号機	合計
一次エネルギー削減量	ＭＪ	935	7130	8065
月平均	ＭＪ/月	312	648	960

*1)１号機は7月の設置者宅の転居以降、運転休止

表 5.1-3　水素供給燃料電池省エネ性　（平成２１年度）

年度累積 H21/04-H22/03		1号機	2号機	合計
一次エネルギー削減量	ＭＪ	10016	4231	14247
月平均	ＭＪ/月	891	376	1267

水素供給燃料電池と改質型燃料電池との運用面での主要な差異のひとつとして、水素供給燃料電池は負荷変化性能が高いことが挙げられるが、3.7 にて示した通り、負荷低減は 700W 瞬時、負荷上昇は 600W/分と差があることから、例えば設置者宅の電力需要が 300－1000W 間を数秒から数十秒間隔で増減した場合、負荷低減方向には発電出力は追従するが、負荷上昇方向では追従しきれず、発電出力を上昇している過程で再度電力需要が低下し、発電出力を低減するという挙動となる。そのため、平均発電出力が電力需要に対して低い値となってしまい、一次エネルギー削減量実績が計画に対して低くなってしまった。

宅内のベース負荷が数百 W ある、負荷変動幅が 2、300W 程度と狭い、負荷変化速度が数百 W/分程度、負荷変動の間隔が 1 分程度と長い、といったいずれかの条件が満たされれば、平均発電出力がより高い値となり、一次エネルギー削減量が計画値に近づいたものと考えられる。

また、本水素供給燃料電池では、湯溜り状態では発電を行なわない設計としており、湯溜り状態を発生させない様に、排熱を適宜使用することが、稼働率の向上に必要である。具体的には、飲用以外の水の使用は、原則貯湯槽からの給湯を使用すること、入浴等で大量の湯を使用するのは、貯湯槽に湯が溜まっている状態の時を推奨とした。このように排熱を有効に活用できれば、計画値を満たすことの出来るポテンシャルは有していることも確認された。

5.2.2. 省エネ性（一次エネルギー削減率）

平成 19 年度から 21 年度までの省エネ性を、一次エネルギー削減率の観点でまとめた結果を表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1　水素供給燃料電池　一次エネルギー削減率

		1号機			2号機			通期
項目	単位	H19	H20	H21	H19	H20	H21	
一次エネルギー削減量	[MJ]	1,409	935	10,016	2,365	7,130	4,231	26,086
燃料電池燃料供給量	[Nm3]	1,384	288	1,720	1,316	1,655	1,128	7,490
	[MJ-HHV]	17,650	3,675	21,936	16,783	21,101	14,382	95,527
一次エネルギー削減率	[%]	7	20	31	12	25	23	21

注：１号機は平成 20 年 6 月で一度運転終了し、移設後の平成 21 年 4 月に運転再開
一次エネルギー削減率の通期の値は通期の削減率を示す。

1号機は平成21年の移設後の運転において、一次エネルギー削減率31%と高い値を達成している。これは、図5.1-3や表5.1-3に示される様に、高い平均発電出力での運転が達成できており、その結果として一次エネルギー削減量が多くなっていること等による。

2号機は、平成20年度の運転では、表5.2-1に示されるように、1号機の平成21年度実績とほぼ同程度の燃料供給量を示している。しかし、平成21年度の運転では、図5.1-3に示されるように、平均発電出力が1号機に比べて高いものの、表3.1に示されるように平均発電効率は2ポイント以上、熱回収効率は12ポイント以上も低く、一次エネルギー削減率は23%に止まっている。

これは、3.3に示されるように、市水流量計でリークが発生し、約1か月間にわたり、排熱回収系統へ市水給水ができない状態となったため、貯湯槽に回収される排熱が、有効に活用されずに大気へ放散してしまった影響が大きいと考えられる。

5.3．環境性（二酸化炭素削減量）

平成19年度から21年度までの環境性を表5.3-1～5.3-3に示す。

表5.3-1　水素供給燃料電池環境性　（平成１９年度）

年度累積　H19/05-H20/03		1号機	2号機	合計
ＣＯ2削減量	ｋｇ-CO2	1187	1201	2388
月平均	kg-CO2/月	108	109	217

表5.3-2　水素供給燃料電池環境性　（平成２０年度）

年度累積　H20/04-H21/03		1号機 *1	2号機	合計
ＣＯ2削減量	ｋｇ-CO2	237	1,682	1,919
月平均	kg-CO2/月	79	151	230

*1)1号機は7月の設置者宅の転居以降、運転休止

表5.3-3　水素供給燃料電池環境性　（平成２１年度）

年度累積　H21/04-H22/03		1号機	2号機	合計
ＣＯ2削減量	ｋｇ-CO2	1,734	1,021	2,755
月平均	kg-CO2/月	144	85	230

省エネ性と同様に、水素供給燃料電池の運転状況により、環境性：二酸化炭素の削減量が大きく変動することが確認された。3.6.で示した様に、水素供給燃料電池は計画値を満たすことの出来るポテンシャルを有していることが確認された。

5.4. 経済性（光熱費の削減状況）

水素供給燃料電池を使用したことによる光熱費の削減結果を表5.4に示した。

本事業では水素ガスに課金していないため、電気及び都市ガスの削減料金分を削減された光熱費として試算したところ、１号機で削減された３年間の光熱費は１６２千円、２号機では２００千円であった。

また、ほとんど稼働しなかった平成20年度の１号機のデータを除いた削減された光熱費の月平均は、５，９５２円であった。

なお、参考までに、水素パイプラインや水素供給燃料電池本体の経費を考慮せず、削減された光熱費のみに見合う水素ガス料金を算出すると、１㎥当たり49円となった。

表 5.4　光熱費削減結果

		1号機			2号機			合計
		H19	H20	H21	H19	H20	H21	
削減された電気量(燃料電池電力供給量)	kWh	1,453	233	2,024	1,507	1,865	1,321	8,404
削減された電気料金	円	37,822	6,065	52,697	39,227	48,546	34,396	218,753
削減された都市ガス量*1)	㎥	105	0.2	182	96	172	72	627
削減された都市ガス料金	円	24,094	47	41,981	22,179	39,629	16,565	144,495
削減された光熱費	円	61,916	6,112	94,678	61,406	88,175	50,961	363,248
	月平均 (円/月)	5,160	ー	7,890	5,117	7,348	4,247	5,952
	計 (円)	162,706			200,542			ー
水素ガス使用量(燃料電池燃料供給量)	Nm^3	1,384	288	1,720	1,316	1,655	1,128	7,490
削減光熱費から算出した水素ガス料金 (参考)	円/Nm^3	45	ー	55	47	53	45	49

注）　本事業では水素ガスに課金していないため、削減された電気量及び都市ガス量に、次の料金単価を乗じて削減料金を試算した。

＊電力料金は、中国電力㈱の一般家庭の料金単価 26.03 円/kwh （平成22年3月）を使用。

＊都市ガス料金は、山口合同ガス㈱の一般家庭の料金単価 230.5380 円/㎥ （平成22年3月）を使用。

平成20年度の1号機についてはほとんど稼働していないため、削減された光熱費の月平均及び水素ガス料金は未算出。

【参考値】　水素ガス料金（円／Nm^3）＝ 削減された光熱費（円）÷ 水素ガス使用量（Nm^3）

＊1）削減された都市ガス量

燃料電池湯供給量相当の都市ガス量＝（燃料電池湯供給量 ÷ ガス給湯器効率 ÷ 都市ガス発熱量）

5.5. トラブルの状況

３年間のトラブルについて、以下の表 5.5-1 に概要を示す。

主機である燃料電池本体に起因するトラブルは皆無であった。

表 5.5-1　３年間のトラブルの概要

	トラブルの内容	発生件数
1	燃料電池パッケージ内の機器（熱交換器、ポンプ、電気ヒータ等）及び制御に起因するトラブル	６件
2	データ収集系のトラブル	１件
3	本事業のために選定した機器(外部ｾﾝｻｰ)及びこれらの施工に関するトラブル	４件

また、表 5.5-1 のトラブル 11 件について、詳細を表 5.5-2 に示す。

表 5.5-2　３年間のトラブル

	トラブル事象	発生年月日	トラブル発生箇所(図 5.5 参照)	(原)原因／(対)対策	備考
1	排熱戻り温度高	平成 19 年 5 月 14 日	１号機 制御ソフト	(原)貯湯槽から燃料電池への排熱回収水戻り温度の保護項目で、排熱回収条件調整の過程で数回発生。 (対)同一の保護対象に対し、保護項目が２つ設定されていたため、本保護項目を無効化し、不要な保護停止を回避した。	対策完了
2	スタック間電圧差大	平成 19 年 6 月 30 日	１号機 燃料系	(原)不明。 (対)水素利用率、負荷上昇速度の調整。	対策完了
3	電池電圧低 触媒燃焼器出口熱交換器リーク	平成 19 年 夏頃より 現象継続 平成 21 年 3 月に目視確認	１・２号機 電池本体 触媒燃焼器出口熱交換器	(原)1 号機、2 号機の伝熱部に貫通微小割れ。 (原)2 号機にて排熱回収系統から外部への微小リーク。 (対)SCC[*1]対策として材質を SUS304 から SUS316L へ変更した熱交換器に交換－1，2 号機とも電池本体交換，触媒燃焼器出口熱交換器交換。	対策完了 平成 21 年 4 月
4	外部流量計地絡 [*2]	平成 19 年 7 月	１・２号機 周辺系	(原)防水性の機器だが、配線施工部の密閉性が不十分で、水が機器内に浸入し、地絡[*2]発生。 (対)完全防水タイプの流量計に変更するとともに、配線施工部の密閉性強化。	対策完了
5	電池冷却水ポンプ停止	平成 19 年 7 月 29 日	１号機 冷却水系	(原)電池冷却水ポンプの運転時間増加による若干の不安定挙動を過敏に検出した。 (対)家庭用燃料電池で同一事象が発生しており検出タイマーを伸ばすことで対策実施済。この水平展開をもって対策とした。	対策完了
6	リモコン給湯温度設定値変更	平成 19 年 11 月	２号機 周辺系	(原)燃料電池リモコンの給湯温度設定が、標準６０℃から３５℃に変わっており、給湯量が減少、湯溜り停止時間が延長。 (対)随時、設定値を確認することとする。	対策完了
7	データ通信途絶	平成 20 年 10 月 14 日	１号機 通信機器	(原)通信機器構成品：サイト端末の不調。 (対)新品と交換。	対策完了
8	逆潮防止ヒータ不動作	平成 21 年 4 月頃から前兆	１・２号機 逆潮防止ヒータ	(原)ヒータ保護用の温度フューズの断線。温度フューズの取付方法に問題があり、配線に応力がかかり断線に至ったもの。 (対)温度フューズ取付け方法の改善。 ・改質型燃料電池機で発生した同種トラブル対策の水平展開が不十分であった。	対策完了

9	制御保護項目設定不良	平成 21 年 7 月 29 日	1・2号機 制御ソフト	(原)水素燃料電池の制御ソフトのベースとなっている家庭用燃料電池の保護項目の削除漏れ。 (対)本項目削除した制御ソフトインストール。	対策完了
10	市水流量計データ欠落	平成 21 年 6 月 27 日	1号機 市水流量計	(原)移設時の配線漏れを接続後、数週間で、線が端子部で断線していた。 (対)配線を新品に交換、配線敷設方法を見直し	対策完了
11	市水流量計リーク	平成 21 年 10 月 7 日	2号機 市水流量計	(原)不明。メーカー見解では、取付ラインで水撃*3)現象発生の可能性があるとのこと。 (対)流量計交換。	対策完了

*1)SCC(stress corrosion cracking)：応力腐食割れ。金属材料が腐食しやすい環境下で、破壊されるほどの強い力を受けずに、配管の溶接部などが割れる現象。

*2)地絡：事故などによって、装置などに大地との電気的接続が生じること。

*3)水撃：管路内を流れている液体を管路途中あるいは末端に設けられている弁などを急閉することによりせき止めると、弁直前の圧力が急上昇し波動となって管路中に伝わる、この現象を水撃（water hammer）という。

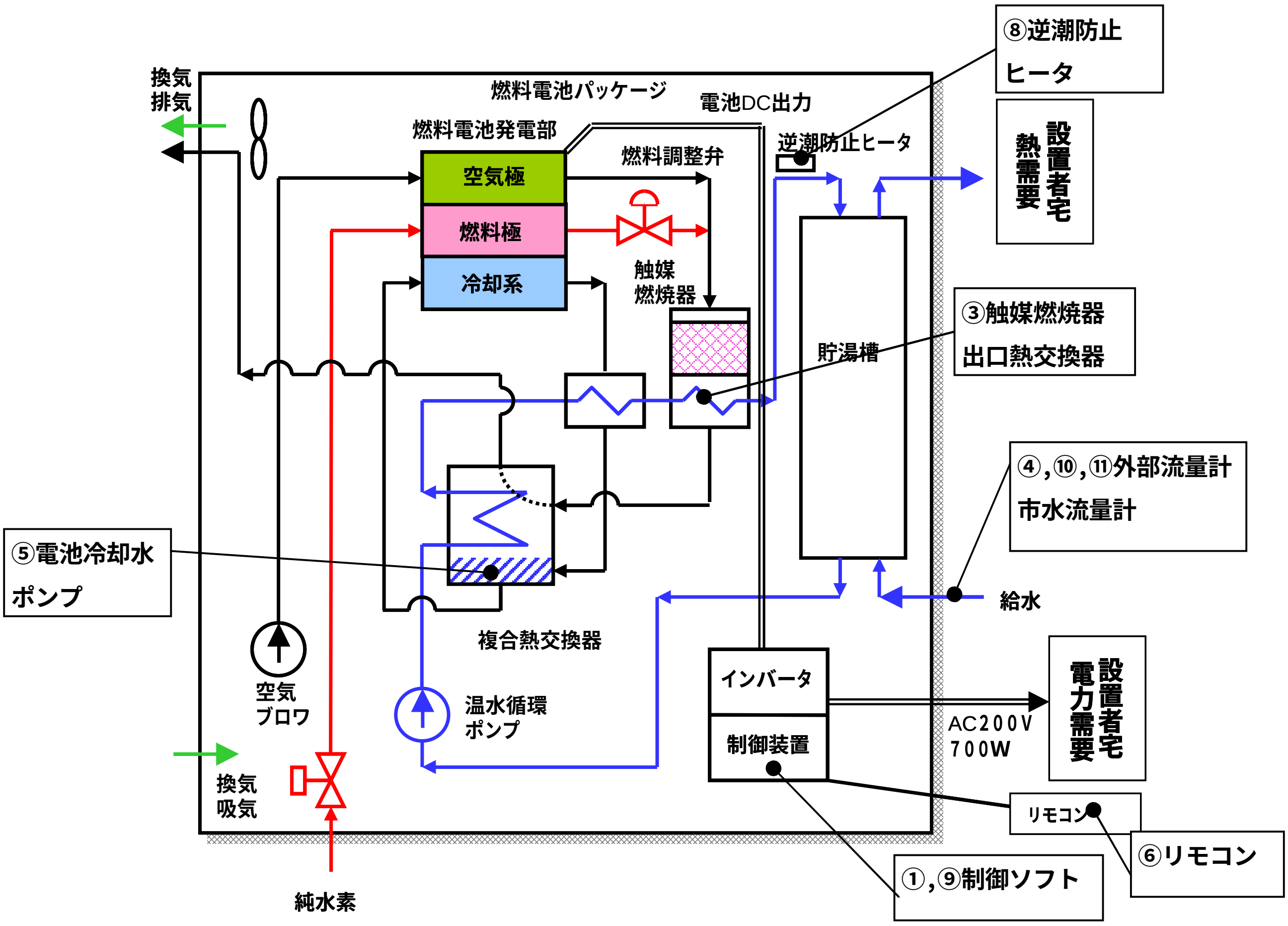

図 5.5　トラブル発生箇所

5.6. 事業の啓発について

本事業は、日本で初めて、工場で副生した水素を、工場敷地外に敷設した配管で民有地に送り、一般家庭に設置した水素供給燃料電池を運転させるという事業である。

地球温暖化防止対策に資する次世代技術として期待されている水素エネルギーを活用した社会構築の第一歩として、事業に対する注目度も高く、事業開始当初から積極的にマスコミの取材に対応し、事業の啓発を行ってきた。

また、大学や関係団体の関心も高く、それらをはじめとする数々の視察を受け入れてきた。

こうした積極的な取組によって、本事業を地球温暖化防止対策に資する水素社会構築に向けたモデルとして、一部の専門家だけでなく、多くの一般の方に啓発することができた。

表 5.6　水素タウンモデル事業に係る啓発実績

項目／回数		19 年度	20 年度	21 年度	計	内　容
報　道 取　材	新　聞	8回	5回		13回	朝日新聞、中国新聞、日本経済新聞、日本経済産業新聞、山口新聞、読売新聞　等 10社
	テレビ	8回	3回		11回	NHK 山口放送局、NHK 広島放送局、FBS 福岡放送、㈱テレビ東京、テレビ山口、日経 CNBC 広島ホームテレビ、山口放送、読売テレビ 9社
雑誌掲載		6回	5回		11回	九州経済調査月報、水素エネルギー協会誌、総合ビジネス誌「財界」、エネルギー・資源学会「純水素駆動定置型燃料電池システムの現状」、西京銀行広報誌「ゼファ 37」、週間「ナノテク」、燃料電池開発情報センター機関誌「燃料電池」、石油連盟掲載誌「PHP　Voice」、中国経済産業局広報誌「METICHUGOKU」等 11団体
講演・発表		6回	5回		11回	JETRO「新産業創出地域連携フォーラム」、新エネルギー研究会と山口地区化学工学懇話会の共催講演会、地域イノベーション創出 2008in やまぐち、日韓海峡沿岸県市道知事交流会議、日本化学会関東支部講演会、山口大学、山口県立大学、立命館大学　等　11団体
視　察		9回	11回	2回	22回	愛知県、青森県、大阪ガス㈱、環境省、川崎重工業㈱、熊本県八代市議会、熊本県宇土市議会、西部ガス㈱、積水化学工業㈱、東京理科大学、東京ガス㈱、中国山東省、栃木県宇都宮市議会、名古屋大学、㈳日本ガス協会、燃料電池実用化推進協議会、㈶広島市産業振興ｾﾝﾀｰ、㈱フジキン、三重県議会　等 20団体

＊水素を供給する工場が受けた視察の回数は、この中に含まず。

5.7. ３年間の本事業のまとめ

5.7.1. 水素供給燃料電池システムについて

本事業で２世帯の家庭に設置した、水素供給燃料電池の３年間の事業総括を表5-7に示す。

表5.7　事業の総括表

項目	単位	１号機			２号機		
		H19	H20	H21	H19	H20	H21
発電時間	h	4,842	968	6,150	3,877	5,493	3,517
一次ｴﾈﾙｷﾞｰ削減量	MJ	1,409	935	10,016	2,365	7,130	4,231
CO_2削減量	kg-CO_2	1,187	237	1,734	1,201	1,682	1,021
平均発電出力	W	358	338	368	376	367	431
稼働率	%	61.5	39.9	76.0	51.1	67.1	43.4

項目	世帯平均		最大		全世帯	
発電時間	4,141	時間/年	6,150	時間/年	24,846	時間/3年
一次ｴﾈﾙｷﾞｰ削減量	4,348	MJ/年	10,016	MJ/年	26,086	MJ/3年
CO_2削減量	1.18	t-CO_2/年	1.73	t-CO_2/年	7.06	t-CO_2/3年
平均発電出力	373	W	431	W	338	W
稼働率	56.5	%	76.0	%	58.8	%

＊世帯平均は２世帯の平均
＊最大は年間のチャンピオンデータ（平成21年度の1号機）
＊全世帯は２世帯の合計

本事業では、３年間で１次エネルギーを26,086MJ（灯油 711リットルに相当）節約し、二酸化炭素を7.0ｔ（ガソリン 3,043リットルを消費したときに排出するCO_2に相当）を削減することができた。

＊＜1 次エネルギーの削減効果の計算＞
表 5.7 より、２世帯の３年間での一次エネルギー削減量＝26,086MJ
灯油１リットル当りの発熱量＝36.7MJ
（出典：「エネルギーの使用の合理化に関する法律施行規則」別表第一
・灯油　1 [kL] ＝ 36.7 [GJ]）
26,086 [MJ] ÷ 36.7 [MJ/L] ＝ 710.7
711　[L]

＊<二酸化炭素の削減効果の計算>

表5.7より、２世帯の３年間での二酸化炭素削減量＝7.06 t-CO_2

ガソリン1,000リットルを消費したときに発生するCO_2＝2.32ｔ

（出典：「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令」第三条第１項第１号イ

・ガソリン　1 [L] ＝ 34.6 [MJ/L] × 0.0183 [kg-C] × 44/12

＝ 2.32166 [kg-CO_2/L]）

7.06 [t-CO_2] ÷ 2.32 [t-CO_2/1000 L] ＝ 3.043 [1000L]

3,043 [L]

なお、本事業の計画におけるCO_2削減量は2.8t/年/世帯であったが、実績では1.18t/年（世帯平均）となり、計画値の42.1%にとどまった。このことは、設置家庭での電気と給湯の需給バランスが偏り、湯溜まりによる発電停止等により、水素供給燃料電池の実稼働率が58.8%、その平均出力が48.3%（338W）と、計画で設定した定格出力（700W）での稼働率59.4%に達しなかったことに起因している。

さらに、３年間、水素供給燃料電池を一般家庭に設置して運転することにより、メーカーの工場では経験できないいろいろなトラブルを経験し、問題解決のための対応をとることができた。

今後、これらを水素供給燃料電池の設計にフィードバックするとともに、トラブルシューティングに反映・充実させることができる。

5.7.2. 水素パイプラインについて

電解工場からの副生水素を家庭で利用できるスキームを構築することができた。

- 地域住民への安心・安全を最優先に、埋設配管は二重管構造とした。
  これは水素ガスが無臭であり、漏洩した場合、検知できないため、二重管の外管に窒素ガスを封入し、その圧力を監視することにより、水素ガスの漏洩を検知するためである。
- 水素を電解工場から水素供給燃料電池の設置宅まで輸送したが、トラブル等問題なく運用できることが確認できた。
- 水素供給圧力は若干変動したものの、水素供給燃料電池の運転には全く問題はなかった。
- 本事業の結果から、水素配管の接合は溶接構造とすることで、安全性が確保できることが確認できた。

5.7.3. 今後の課題

①水素供給燃料電池システムについて

本事業では、水素供給燃料電池の特性（優位性）として、高いCO_2削減効果や、起動時間の早さ、優れた負荷追従性等が確認できた。

今後、設置家庭において、常に最適な状態で使用できるシステムの開発が進めば、湯溜まりによる発電停止等を効率よく防ぎ、更に運転効率が上がる可能性がある。

また、本事業において機器の点検や修理のために、長期間運転停止の状態が続いたことを考慮すると、一般家庭へ水素供給燃料電池を普及させるためには、家庭用の改質型燃料電池で進められているような機器そのものの耐久性及び信頼性の向上を進めるとともに、本体価格の大幅なコストダウンが必要である。

②水素パイプラインについて

本事業では、副生水素を工場からパイプラインで住宅地に供給するため、法的な基準等がない中で、地域住民の安心・安全を最優先とし、二重構造による水素パイプラインを敷設した。

しかし、今後こうした取組を進めていくためには、安価で安定供給可能な高純度の副生水素の確保、水素供給配管に関する安全基準等の法的整備、また、水素供給基盤整備のための資材の大幅なコストダウン等が必要である。

6.　水素タウンモデル事業の成果と今後への展望

水素タウンモデル事業は、周南市温暖化対策地域協議会が、国内で初めて工場の副生水素をパイプラインで一般家庭に供給し、水素供給燃料電池システムを稼働させた事業である。
本事業で設置した水素供給燃料電池は、発電と給湯を行うコージェネレーションの過程で、全く二酸化炭素を排出しない代わりに高純度の水素を必要とするため、その設置場所が制限される。
周南市で本事業が実施できたのは、副生水素という潜在的な水素供給源を有する周南コンビナートの特性を活用し、産学公が連携・協働した取組であったからである。

その成果は、これまで記述してきたとおり、エネルギー源としての副生水素の確保、水素パイプラインによる安全で安定した供給、水素供給燃料電池の高い省エネ効果と二酸化炭素削減効果を、一般家庭の実生活の中で確証できたことである。
また、事業開始当初から視察や取材を受け入れた結果、国内はもとより中国からの視察もあるなど、大きな注目を集め、地球温暖化対策や水素エネルギーの普及・啓発を行うこともできた。

その一方で、エネルギーとして活用できる副生水素の安定確保、水素供給基盤整備や水素供給燃料電池等水素利活用技術の更なる信頼性及び耐久性の確保とコストダウン、そしてこれらの技術を安全に使用するための基準や関係法令の整備が必要であることも課題として整理された。
水素供給燃料電池が普及していくためには、これらの課題を革新的な技術開発と製品価格のコストダウンによって克服していく必要があるものの、本事業によって次世代エネルギーの一つとしての水素の可能性を示すことができた。

現在、国内では、地球温暖化防止対策に資する水素社会構築に向けて、燃料電池等の水素利活用技術に関する数々のプロジェクトが進められており、本事業の参加企業も、これらの取組に参加、事業を推進している。
今後は、これら水素利活用関連事業の結果を公開して情報を共有し、産学公の連携・協働のもと、水素エネルギー活用の技術的発展はもとより、社会の機運醸成を図り、更なる取組を促進していくことが重要である。

国は、「Cool Earth ― エネルギー革新技術計画」(経済産業省･平成20年3月)で、「効率の向上と低炭素化の両面からCO_2の大幅削減を可能とする重点的に取り組むべき「21」のエネルギー革新技術のひとつとして、『定置用燃料電池』や『水素製造・輸送・貯蔵』を選定している。またＮＥＤＯ(独立行政法人新エネルギー･産業技術総合開発機構)の「燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010」では、「(改質タイプの)家庭用燃料電池を2020 年度に累積導入 250 万台、CO_2 削減年間 300 万トンを目指す。」としている。