

第3章 小規模な固体高分子形定置用燃料電池に係る火災予防上の安全対策の検討

3.1 小規模な固体高分子形定置用燃料電池の構造、機能等

燃料電池は水素と酸素を連続的に供給し、電気化学反応によって直接電気を得る発電装置である。この節では、ミレニウム事業等で実機確認を行っており、主として家庭用として普及することが予想される小規模な固体高分子形定置用燃料電池（この章において「定置用燃料電池」という。）の基本原理及び構造について記述する。

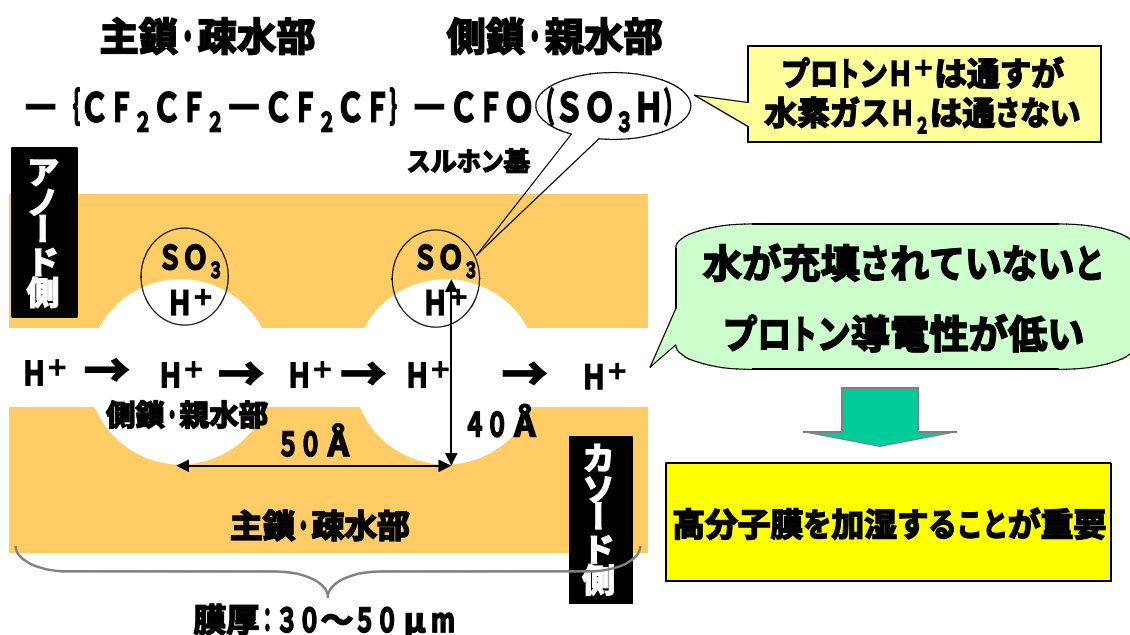
3.1.1 構造

(1) 固体高分子形燃料電池の基本原理及び構造

定置用燃料電池の基本原理を図3-1-1に示す。

セル（単電池）は燃料極、空気極及び電解質から構成されるMEA（Membrane Electrode Assembly）と呼ばれるものを基本としており、セルの電解質は、高いプロトン導電性やガス分離能（改質ガスや酸化剤ガスが電解質を通過するのを対極への移動を防止）を備えた厚さ数十 μm の非常に薄い高分子膜である。プロトンは、水を伴って電解質中を移動するため、水が十分に存在しないと導電性が低下してしまう。このため、高分子膜を加湿するといった水分管理が非常に重要であり、改質ガスや酸化剤を適度に加湿してセルに供給する。

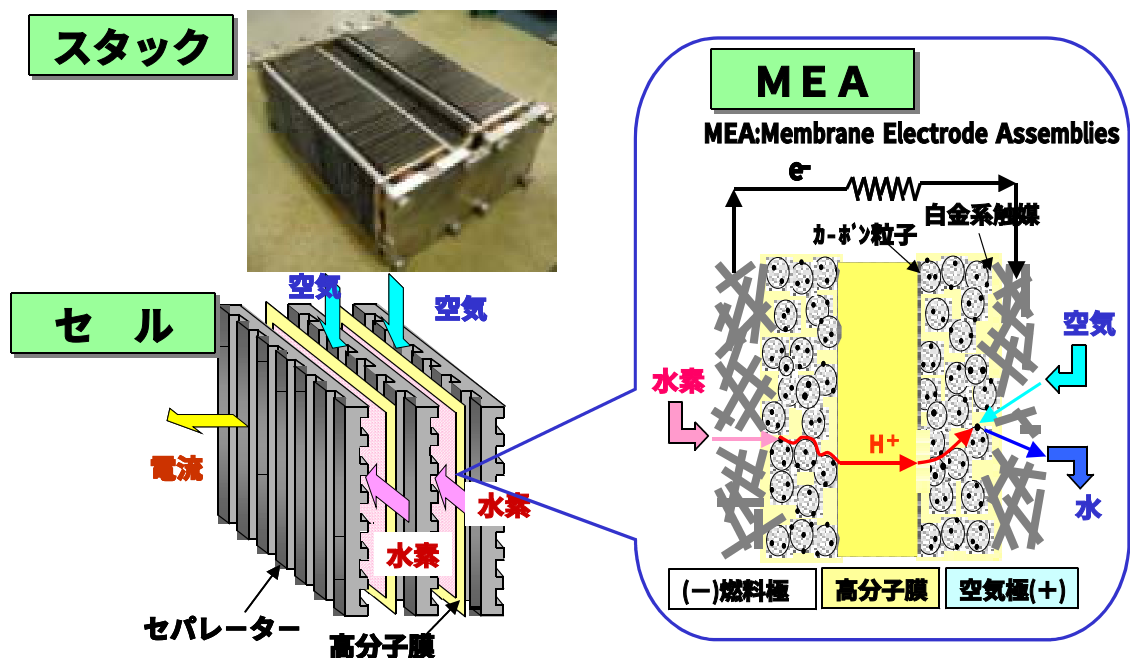
作動温度は約80 $^{\circ}\text{C}$ と低く電気化学反応を迅速に進めるため、電極に白金系の触媒を使用している。



（図面提供：社団法人 日本電機工業会）

図 3-1-1 固体高分子形燃料電池の基本原理

これらのセルを、セパレータを介して直列に複数枚積層し、図3-1-2に示すような所定の出力に相当するスタックとする。セパレータの両面の溝にそれぞれ改質ガス、酸化剤ガスを通すことで出力を得る。



（図面提供：社団法人 日本電機工業会）

図 3-1-2 固体高分子形燃料電池の構造

(2) 燃料電池の出力特性（I-V（電流－電圧特性））

定置用PEFCは、高い発電効率を得るために通常 $0.2 \sim 0.3 \text{ A/cm}^2$ の電流密度で単セル電圧が 0.7 V 以上となるように設計される。

1 kW級の定置用燃料電池におけるセルスタックの電流－電圧特性例を図3-1-3に示す。図3-1-3からセルスタックの定格出力時の作動電圧は 62 V 、電流は 20 A である。

無負荷時の開回路電圧は約 82 V であり、これがセルスタックの最大電圧となる。

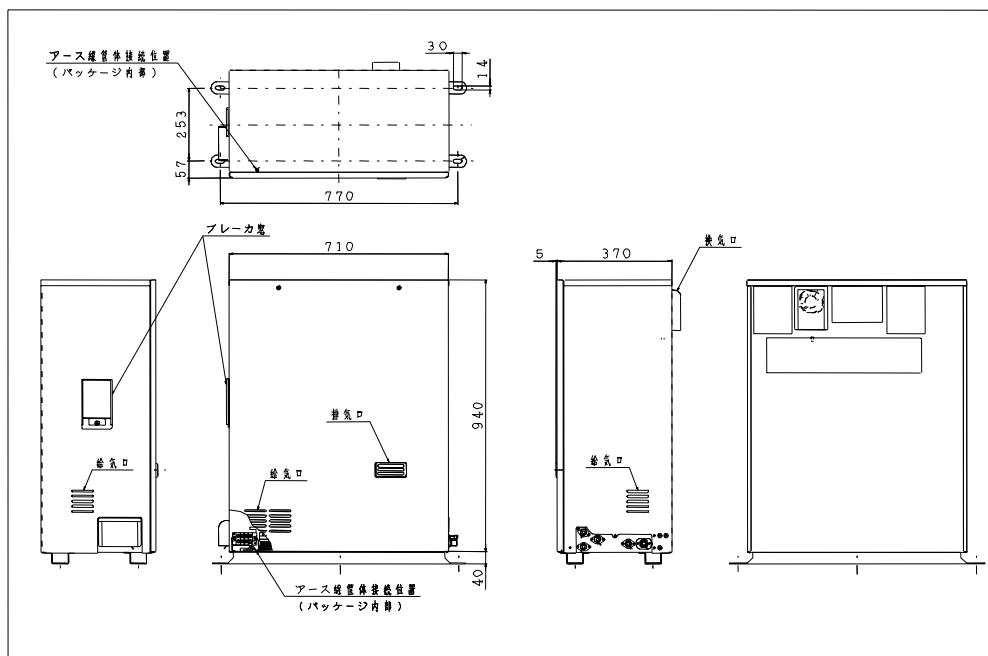
図3-1-3に示すように、スタック電流を増加させるとスタック電圧は低下するが、出力（電流×電圧）は増大する。

電流値が規定以上に増加するとセルスタックに供給される改質ガス又は反応空気量が不足し、セルスタックの電圧は急速に低下し、制御装置が電池電圧低を検知して、システムは非常停止する。

また、このようなI-V特性のバランスがくずれ、電流値や電圧値が変化することで「電池電圧低」を検知し装置が停止するといった保護機能を備え、セルスタックそのものが異常を検知するセンサとなっている。（例えば、所定の出力に対して燃料ガス流量が不足すると、所定の出力を得ようと電流値が上昇し、電圧が低下し、異常を検知する。）

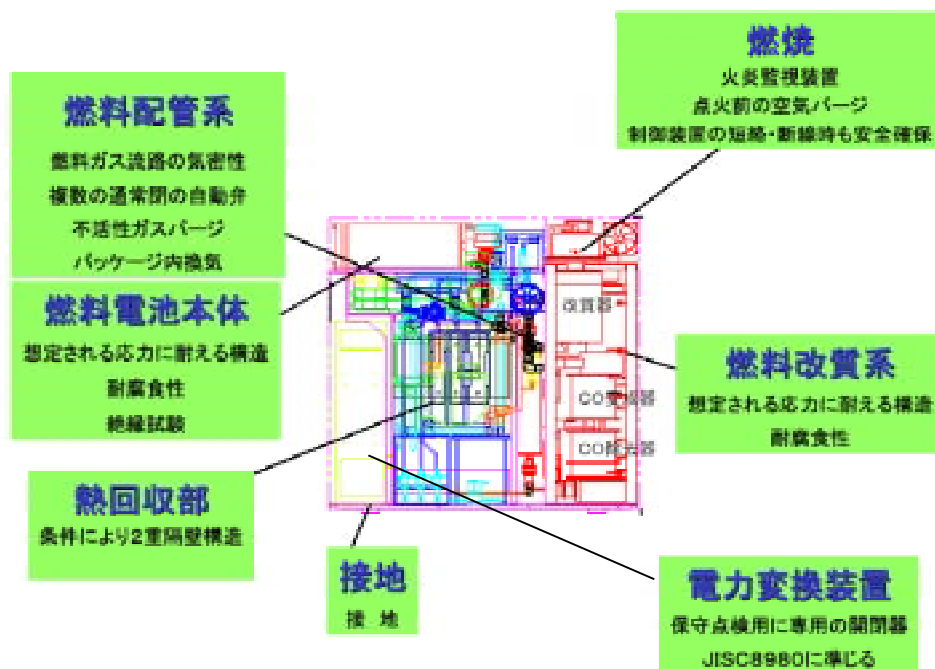
(4) 定置用燃料電池の外形及び内部構造

図3-1-5に1 kW級の定置用燃料電池の外形図の例を、図3-1-6に内部構造の例を、それぞれ示す。図3-1-5中の黒線内で示した各種構成要素がパッケージ内に収納されている。



(図面提供：社団法人 日本電機工業会)

図 3-1-5 定置用燃料電池本体の外形図の例



(図面提供：社団法人 日本電機工業会)

図 3-1-6 定置用燃料電池本体の内部構造の例

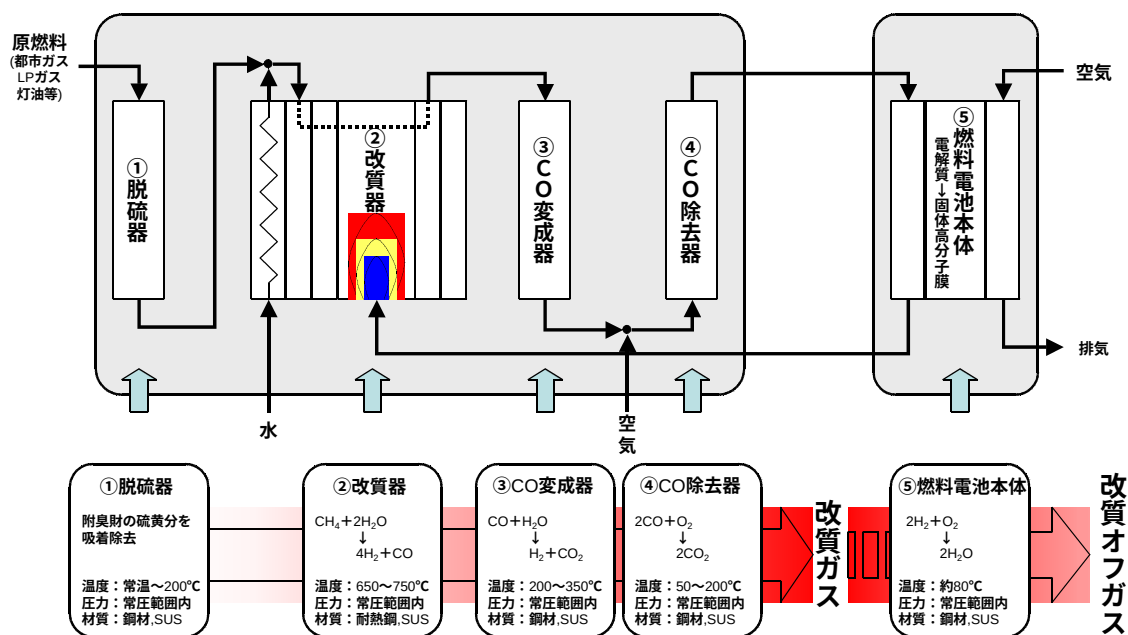
ミレニアム事業で実機確認を行っている定置用燃料電池の概略仕様を表3-1-1に示す。各機種ともに1kW級で高さ1m前後、幅710mm、奥行き400mm弱と、家庭用エアコン室外機の約2倍程度であり、非常にコンパクトで容易に設置可能であることがわかる。5kW、10kW級は出力が大きくなる分、外形寸法もやや大きくなる。

表 3-1-1 定置用燃料電池の概略仕様

メーカー	定格出力	燃料	外形寸法(mm)	
			燃料電池本体	インバータ
A 社	1kW 級	都市ガス	W900×H900×D280	本体内蔵
B 社	1kW 級	都市ガス	W760×H1000×D330	W490×H270×D156
C 社	1kW 級	都市ガス	W830×H845×D300	本体内蔵
D 社	1kW 級	都市ガス	W700×H900×D360	W460×H280×D150
E 社	1kW 級	都市ガス	W710×H940×D370	本体内蔵
F 社	1kW 級	プロパン	W800×H1000×D370	W480×H500×D350
G 社	1kW 級	都市ガス	W960×H1020×D350	W360×H590×D320
H 社	5kW 級	都市ガス	W1990×H1735×D1059	本体内蔵
I 社	5kW 級	都市ガス	W1787 × H 1710 × D752	本体内蔵
J 社	10kW 級	灯油	W1900×H1900×D850	本体内蔵

3.1.2 機能

定置用燃料電池の基本的な構成と各構成機器における反応式、作動条件、材質等を図3-1-7に示す。



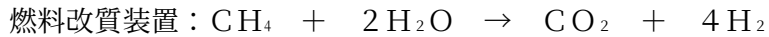
(図面提供：社団法人 日本電機工業会)

図 3-1-7 定置用燃料電池の構成

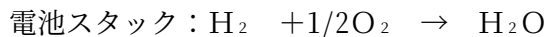
(1) 基本的な作動原理

ア 作動原理

- (7) 燃料改質装置に供給された原燃料と水は、改質装置内の触媒反応により水素主成分の改質ガスになり、セルスタックに供給される。



- (イ) セルスタックで改質ガス中の水素の70～80%が発電のために消費される(水素利用率70～80%)。



- (ウ) 残りの30～20%の水素は、セルスタックのオフガスとして改質器バーナで燃焼され、改質器の熱源として使われ適正な温度に維持する。

イ 運転方法の説明

- (7) 燃料改質装置内の各反応器の温度及びセルスタックの水素利用率を適正值に維持するように熱バランスをとりながら作動している。
- (イ) 改質器における改質反応は吸熱反応であるため、セルスタックのオフガスを改質器バーナで燃焼し、反応に必要な熱を供給する必要がある。
- (ウ) 熱バランスが壊れると、セルスタックに供給される改質ガス中の水素ガス量が不足又はCO濃度が高くなり、セルスタック電圧低となり停止する。

(2) 基本的な制御方法について

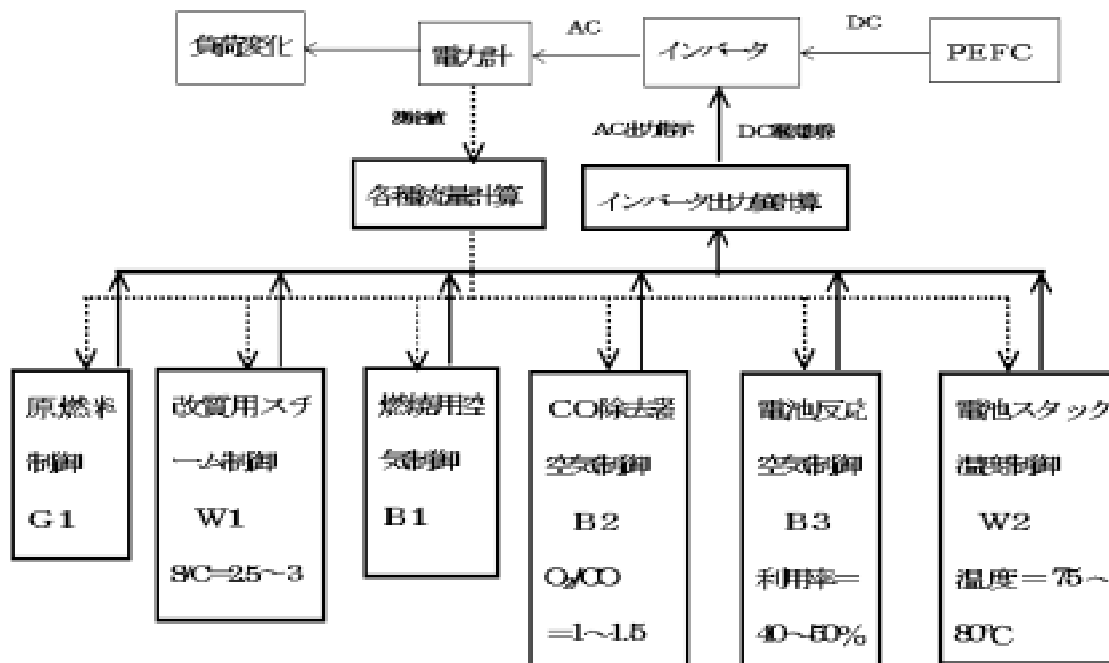
定置用燃料電池は、全ての機器が下記に示す設定範囲(代表範囲例)に制御されて作動している。この中の1つでも設定値を外れるとシステムとしての熱バランスが変化するため、燃料改質系温度高、セルスタック電圧低、セルスタック温度高、バーナ失火等の異常を検知してPEFCシステムは安全に停止する。

ア 各反応器の設定温度(代表例)は次のとおりである

- (7) 脱硫器：常温又は150～300℃
- (イ) 改質器：700℃程度
- (ウ) CO変成器：250℃程度
- (エ) CO除去器：130℃程度

イ 制御方法の例(数値は代表例)

定置用燃料電池の出力制御の概念図は、図3-1-8に示すとおりであり、熱効率を高く維持するために次に示すような適正範囲に制御され作動している。



(図面提供：社団法人 日本電機工業会)

図 3-1-8 出力制御の概念図

- (7) 原燃料は、負荷に応じて予め定められた量だけ導入する（図中のG1）。
- (イ) 改質用スチームは、改質触媒表面に炭素が付着して触媒能が低下するのを防ぐために導入された原燃料量に応じて予め設定された比率（スチーム／原燃料中の炭素＝2.5～3）になるように導入する（図中のW1）。
- (ロ) 燃焼用空気は、改質器バーナに導入される燃料の種類・量等に応じて予め設定された比率になるように制御する（図中のB1）。
- (エ) 改質ガス中のCO濃度を低減するためにCO除去器へ導入される空気量は、導入されるガス中のCO量に応じて予め設定された比率（空気中の酸素／ガス中のCO＝1～1.5）になるように導入する（図中のB2）。
- (オ) セルスタックに導入される反応空気量は、負荷に応じて予め定められた量（セルスタックで使用される酸素／導入された空気中の酸素×100＝40～50%）だけ導入する（図中のB3）。
- (カ) セルスタック温度を規定された温度（75～80℃）に制御する（図中のW2）。

ウ 制御方式に関するメカニズム

一般に定置用燃料電池は、系統連系運転（逆潮流なし）を行っている。

家庭内負荷の増減に関係なく常に出力一定で運転する方式もあるが、負荷の増減に対して緩やかに自動的に追従する負荷追従運転方式が主流である。

負荷の大きさは、交流電力計等で計測され、計測信号が制御装置に入力される。

家庭内負荷が増加した場合、制御装置は新しい負荷を認識し、予め設定された負荷変化速度で原燃料流量、改質用スチーム量、燃焼用空気量、CO除去器空気量、セルスタック反応空気量を出力に見合った量に変化させる。制御装置は、原燃料流

量、改質用スチーム量、燃焼用空気量、CO除去器空気量、セルスタック反応空気量の実測値から出力可能なインバータ出力値を算出し、インバータに出力指示を与える。

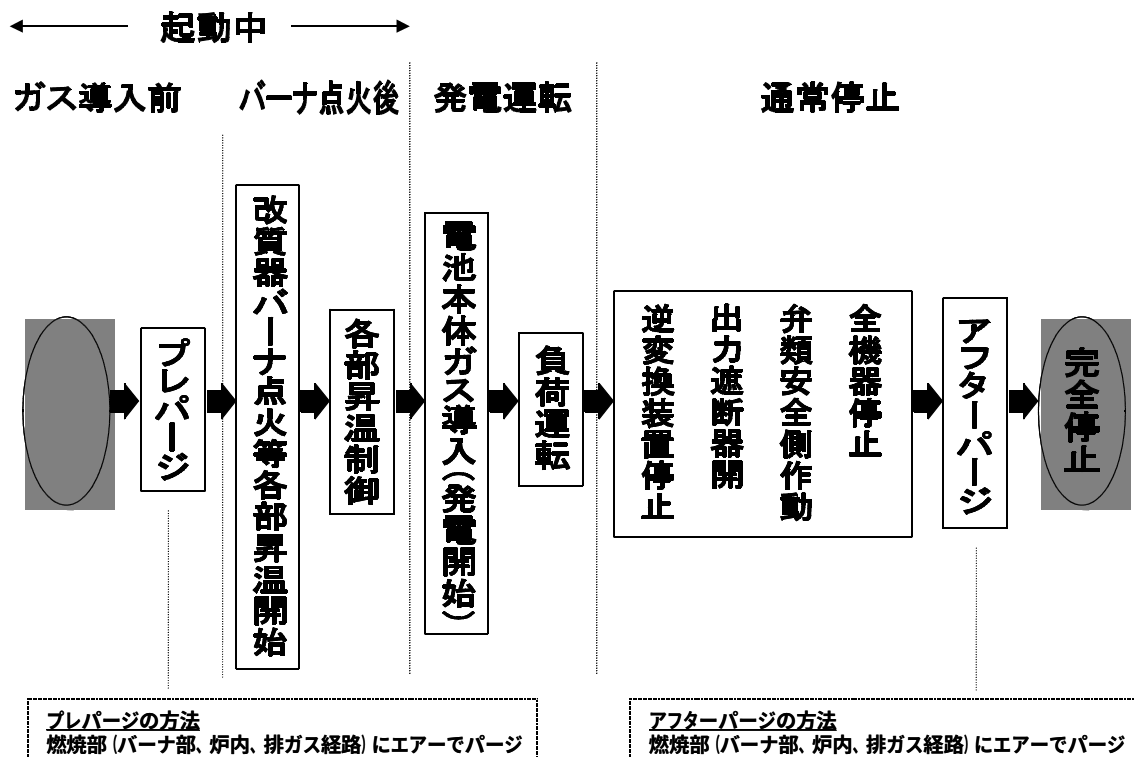
このため、セルスタックには常にインバータ出力に見合った十分な反応ガス量（改質ガス、空気）が供給されることになる。このように、原燃料が十分に供給されない段階において、セルスタックは水素不足、酸素不足による過度な負担により大きなダメージを受けることがないように保護されている。この時、セルスタック温度は、規定された温度範囲内に制御されている。

また、インバータ出力を下げるときに、一次的に生じる余剰の改質ガスを改質器バーナで燃焼することになるが、改質器温度が規定された温度範囲内になるよう制御されている。なお、緊急停止時にも一時的に過大燃料となるが原燃料弁を短時間（1秒程度）で閉止するため、温度上昇は小さい。

エ 起動時及び停止時の基本シーケンス

定置用燃料電池の起動から運転・停止までの全体運転フローを図3-1-9に示す。

起動時は、改質器バーナ点火前にバーナ系を空気でプレパージした後、バーナを点火する。その後、各種反応器をそれぞれの設定温度まで上昇させ、運転可能温度範囲になったところで発電を開始し電気が系外へ出力される。停止時は、系統から解列し、原燃料遮断弁を閉止した後、アフターパージを行い停止を完了する。



（図面提供：社団法人 日本電機工業会）

図 3-1-9 定置用燃料電池の運転フロー図