

3.2 ハザード抽出及びリスクランクの検討

一般にリスクアセスメントとは、人、財産、社会又は環境にリスクを与える潜在的なハザード（危険）及びハザード事象を確認し、利用可能なデータと経験、系統的観察あるいは統計学的分析によってハザードの発生確率を推定し、系統だった手法でリスクを推定評価することとされている。この推定評価はリスクが特定のハザードによりもたらされる被害の大きさと、被害の発生する確率の関数で表されるという視点に立って実施される。

本調査検討では、火災予防上の観点から定置用燃料電池のリスクランク（ハザードによりもたらされる被害の大きさ×被害の発生する確率）を評価する手法として、上記手法が合理的であると考え、以下に示すリスクランクの検討を実施した。

3.2.1 ハザード抽出

平成14年度に財団法人日本ガス機器検査協会において行われた「燃料電池研究会」では、次の(1)～(4)に示す条件を全て満足する定置用燃料電池の燃料系、水系、空気系、停電時、メンテナンス時、設置時について、構成機器別に、安全装置が存在しないという想定の下に、考えられる全てのハザードを図3-2-1に示す形態で抽出している（添付資料4参照）。

- (1) 燃料の種類
都市ガス（13A）、LPガス、ナフサ、灯油
- (2) 燃料電池の種類
固体高分子形燃料電池
- (3) 設置方式
屋外式、屋内式、屋外・屋内兼用
- (4) 発電設備の種類
常用発電設備

燃料電池ハザード抽出表(燃料系)

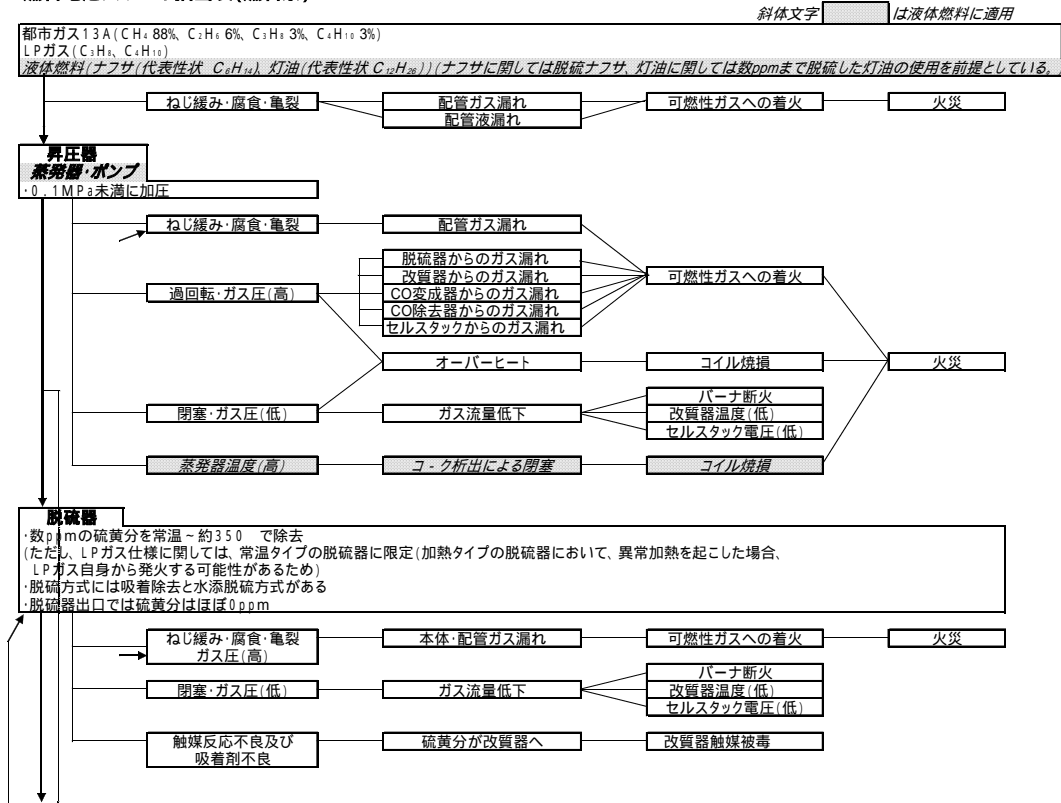


図 3-2-1 燃料電池ハザード抽出表(燃料系の一部を抜粋)

3.2.2 リスクランクの検討

(1) 検討手順

3.2.1 に示した燃料電池ハザード抽出表に、インバータ及び電気装置部分のハザードを追加して、図 3-2-2 に示す方法で火災に関係するハザード(A1、A2、A3及びA4)に対するリスクランクの検討を行い、添付資料5に示すハザード評価表を作成した。



図 3-2-2 ハザード評価フロー

1 対策前のリスクランク

低 ← → 高

対策前の発生率 ハザード	A	B	C	D
A 1 (建物等への延焼)	L	M	H	H
A 2 (FCシステム焼損)	L	M	H	H
A 3 (可燃物温度上昇)	L	L	M	H
A 4 (機器のみの影響)	N	N	N	N

2 対策後のリスクランク

低 ← → 高

対策前の発生率 対策前のリスクランク	A	B	C	D
H	ア	イ	ウ	エ
M	ア	ア	イ	ウ
L	ア	ア	ア	イ
N	ア	ア	ア	ア

(2) 検討結果

ア 系統別のハザードの状況

定置用燃料電池のハザードは 215 件存在し、系統別のハザードの状況は、表 3-2-1 に示すとおりであり、系統別では燃料系が 60 件と最も多かった。

表 3-2-1 系統別のハザードの状況

系統	A 1	A 2	A 3	A 4	B	C	なし	計
燃料系	16		9	32	3			60
水系	8	2	8	5		6		29
空気系	3	12	3	10	2			30
停電				7			8	15
設置時	3		6	2			2	13
点検時	9	1	8	17	2	9		46
電気系		8		7		7		22
総計	39	23	34	80	7	22	10	215

イ 対策前のリスクランク

以下の記述は、火災予防上考慮すべきハザード (A 1、A 2、A 3 及び A 4) を対象とする。

安全対策実施前のリスクランクを表 3-2-2 に示す。

表 3-2-2 から安全対策実施前のリスクランクが「N (なし)」は、ハザード総数の約 45 % であり、残りの 55 % については何らかの安全対策を講じる必要があるこ

とが確認された。

表 3-2-2 対策前のリスクランク

対策前の発生率 ハザード	A	B	C	D	計
A 1 (建物等への延焼)	16	23			39 (22.2%)
A 2 (FCシステム焼損)	15	6	2		23 (13.1%)
A 3 (可燃物温度上昇)	2	23	9		34 (19.3%)
A 4 (機器のみの影響)	8	31	34	7	80 (45.5%)
計	41 (23.3%)	83 (47.2%)	45 (25.6%)	7 (4.0%)	176

	対策前のリスクランク H (高い)	2 (1.1%)
	対策前のリスクランク M (中程度)	38 (21.6%)
	対策前のリスクランク L (低い)	56 (31.8%)
	対策前のリスクランク N (なし)	80 (45.5%)

ウ 安全対策

ハザードに対する安全対策は、ハザードが発生しにくい構造にする他、ハザードが発生した場合の安全対策として安全装置を備えているケースが多い。定置用燃料電池のハザードに対する安全対策は、表 3-2-3 に示すとおりであり、約 92 %が定置用燃料電池に設置されている各種センサによって異常を検知して、定置用燃料電池を停止させる構造となっている。

表 3-2-3 ハザードに対する安全対策

	安全対策	件数
1	セルスタック電圧の低下を検知して停止させる。	62 (35.3%)
2	ケーシング内の温度上昇を検知して停止させる。	33 (18.8%)
3	セルスタック温度上昇を検知して停止させる。	10 (5.7%)
4	CO除去装置の温度上昇を検知して停止させる。	2 (1.1%)
5	改質器の温度上昇を検知して停止させる。	13 (7.4%)
6	脱硫器の温度上昇を検知して停止させる。	1 (0.6%)
7	可燃性ガスを検知して停止させる。	28 (15.9%)
8	断火を検知して停止させる。	14 (8.0%)
9	換気装置の異常を検知して停止させる。	1 (0.6%)
10	セルスタックの電圧・電流の異常を検知して停止させる。	12 (6.8%)
11	構造上、ハザードが発生しにくい構造	13 (7.4%)
	計	189

注 1： 安全対策が複数施されているケースについては、個々にカウントしたことから、計はハザード件数よりも多い。

注2： 件数欄の括弧内は、ハザード件数（=176件）に対する百分率（%）である。

エ 関連基準等

ハザードに対しての安全対策等について規定した関連基準等は、表 3-2-4 に示すとおりであり、自主基準によって安全対策が担保されているハザード5件を除き、約 97 % のハザードが法令によって安全対策が担保されていることが確認できた。

表 3-2-4 安全対策等について規定した関連基準等

	電技 10、11、15条 電気用品別表8	電技 44条	電技 46条	電技 58条	火技 32、33条	火技 33条	火技 34条	電気用品 別表8	自主基準	計
燃系		32			5	8	8		4	57 (32.4%)
水系		17				4	2			23 (13.1%)
空系		14				5	8		1	28 (15.9%)
停電時		1	6							7 (4.0%)
設置時		8		1		2				11 (6.3%)
点検時		24				9	2			35 (19.9%)
電気系	3					1		11		15 (8.5%)
計	3 (1.7%)	96 (54.5%)	6 (3.4%)	1 (0.6%)	5 (2.8%)	29 (16.5%)	20 (11.4%)	11 (6.3%)	5 (2.8%)	176

注： 添付資料1に示す関係基準等のうち、「電技解説」及び「火技解説」については、元となる電技又は火技の条項として計上した。表中の略号は以下に示すとおりである。

電技：電気設備に関する技術基準を定める省令（平成9年3月27日通商産業省令第52号）

火技：発電用火力設備に関する技術基準を定める省令（平成9年3月27日通商産業省令第51号）

電気用品：電気用品の技術上の基準を定める省令（昭和37年8月14日通商産業省令第85号）

自主基準：小型固体高分子形燃料電池発電システムの安全に関する基準・規格の調査（自主基準 第3次素案 社団法人日本電機工業会 燃料電池発電システム技術専門委員会固体高分子形燃料電池分科会 社団法人日本ガス協会 定置用燃料電池普及整備事業 技術調査研究会システム評価試験法作業会）

オ 対策後のリスクランク

安全対策実施後のリスクランクの状況を表 3-2-5 に示す。

表 3-2-5 から安全対策実施後のリスクランク「ア（危険性がない）」は、ハザード総数の約 99 % となり、安全対策実施前の約 45 % から大幅に向上していること、リスクランク「ウ（許容できるただし更なる安全対策が可能かどうか必ず検討）」及び「エ（許容できない更なる安全対策が必要）」が存在しないことが、それぞれ確認できる。

したがって、安全対策が適性に施されていれば火災の危険性は極めて低いと考えられる。

表 3-2-5 対策後のリスクランク

対策前の リスクランク \ 対策後の発 生率	A	B	C	D	計
H (高い)	1	1			2 (1.1%)
M (中程度)	28	10			38 (21.6%)
L (低い)	47	8		1	56 (31.8%)
N (なし)	37	16	21	6	80 (45.5%)
計	113 (64.2%)	35 (19.9%)	45 (11.9%)	7 (4.0%)	176

 対策後のリスクランク	ア (危険性がない)	174 (98.9%)
 対策後のリスクランク	イ (許容できる更なる安全対策は不要)	2 (1.1%)
 対策後のリスクランク	ウ (許容できるただし更なる安全対策が可能かどうか必ず検討)	0
 対策後のリスクランク	エ (許容できない更なる安全対策が必要)	0

カ 安全対策に対する他法令の規定

安全対策に対する他法令の規定の有無について分類を行った結果は、表 3-2-6 に示すとおりであり、リスクランクが「ア (危険性がない)」であったもの 174 件のうち他法令で安全対策が担保されているハザードは 169 件、自主基準で安全対策が担保されているハザードは 5 件であった。また、リスクランクが「イ (許容できる更なる安全対策は不要)」であった 2 件のハザードに対する安全対策は他法令で担保されていた。

表 3-2-6 安全対策に対する他法令の規定

リスクランク	他法令での規定の有無		計
	有	無	
ア	有	169	174
	無	5	
イ	有	2	2
	無	0	
ウ	有	0	0
	無	0	
エ	有	0	0
	無	0	
計	有	0	176
	無	0	

3.2.3 安全装置の信頼性

3.2.2 で記述したように、定置用燃料電池は各種の安全装置によって安全が担保されている割合が高いことが確認された。

したがって、ハザードが発生した場合に定置用燃料電池を安全に停止させることができなければ、実態とリスクランクの検討結果との間に齟齬を生じることとなる。

そこで、定置用燃料電池の安全装置の信頼性についての調査を行った。

(1) 安全装置の構成

定置用燃料電池の安全装置は、次に示すようにセンサ部、ロジック部及び動作部から構成されている。

ア センサ部

定置用燃料電池を制御する上で必要となる温度、電圧等の物理量を計測するものであり、センサーの取り付けの例を図 3-2-3 に示す。

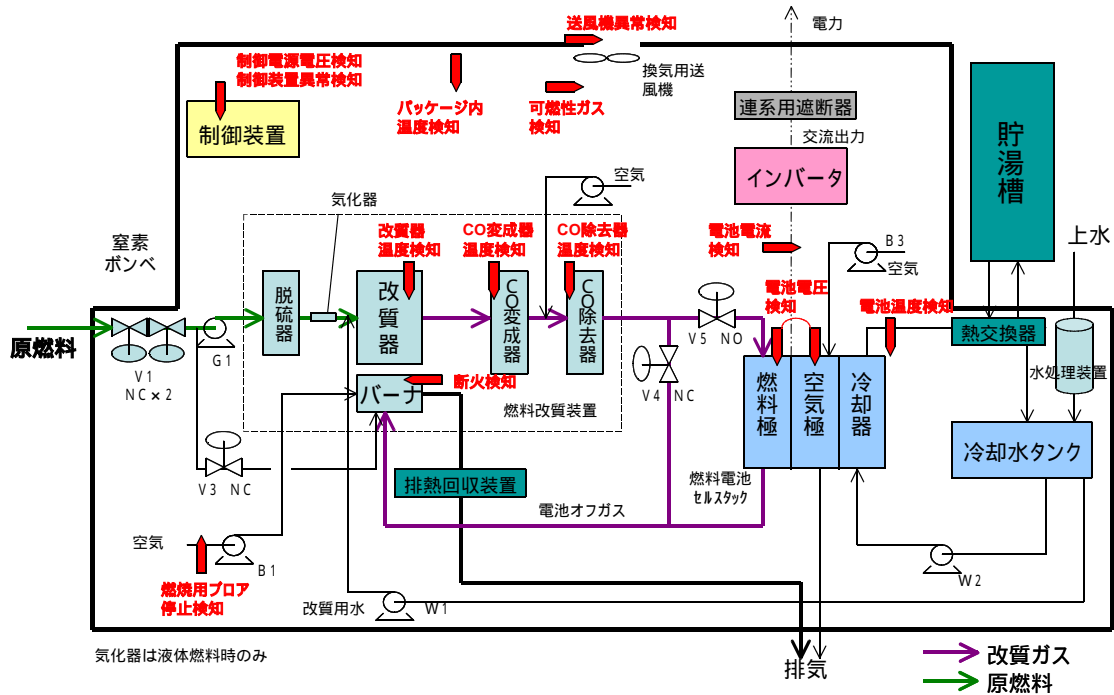
これらのセンサーはいずれも、物理量をアナログ信号として出力するものである。

例えば、温度検知器では、一般にサーミスタによって温度を検知している。サーミスタは、温度によって抵抗が変化する特性を有しており、正常時はこれに電流を流し、両端の電圧を計測することによって温度の検出を行っている。

これらセンサーに異常が生じた場合は、レンジオーバーを検知することによって、センサーの異常を覚知することができる。前述のサーミスタを例にとると、サーミスタの故障モードは大きく分けて二つあり、一方は断線（抵抗が無量大）による故障、他方は短絡（抵抗がゼロ）による故障である。これらの故障が発生した場合は、制御装置が普段あり得ない電圧を検出するために、センサーの故障と自己認識することができるものである。

なお、上記故障モードの他にセンサーが正確な物理量を計測できない場合が考えられるが、この場合は正確でない物理量に応じた制御を動作部に伝達することから、当該動作部の作動によって他の部位に異常な物理量が発生することとなるので、結果として他の部位に設置されているセンサーが異常を検知することとなる。

一例として、改質装置温度センサーが温度を真値よりも低く計測していた場合は、改質装置の温度を上昇させるために、燃料の供給が過剰となり、結果としてパッケージ内の温度が上昇してパッケージ内温度検知異常によって、定置用燃料電池は停止することとなる。



(図面提供：社団法人 日本電機工業会)
 図 3-2-3 定置用燃料電池に設けられたセンサーの例

イ ロジック部

センサ部で得られたアナログ信号をデジタル信号に変換して、定置用燃料電池の電磁弁、回転器の制御を行うものであり、通常時は図 3-1-8 に示すような出力制御を行うものである。

制御装置には、制御装置が正常に作動しているかどうかを常時監視するタイマー機能であるウォッチドックタイマー機能が具備されている。

ウォッチドックタイマーとは、制御装置が正常かどうかを常に監視するためのタイマーであり、制御装置が正常に動作している場合は、ある一定の間隔でウォッチドックタイマーに対して信号を発信し、ウォッチドックタイマーではこの信号を定期的に受信することにより、制御装置が正常に動作していると判断する。

一方、制御装置が停止した場合は、ウォッチドックタイマーへの信号の発信がなくなる（特定の時間間隔以内に制御装置からの信号が届かない）ため、制御異常と判断し、各種補機類の駆動電源を停止することができる。

ウォッチドックタイマーの概念図を図3-2-4に示す。

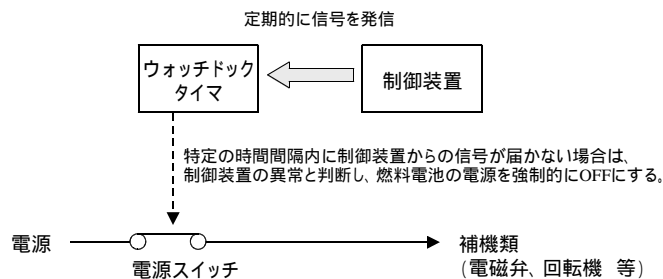


図 3-2-4 ウォッチドックタイマーの概念図

ウ 動作部

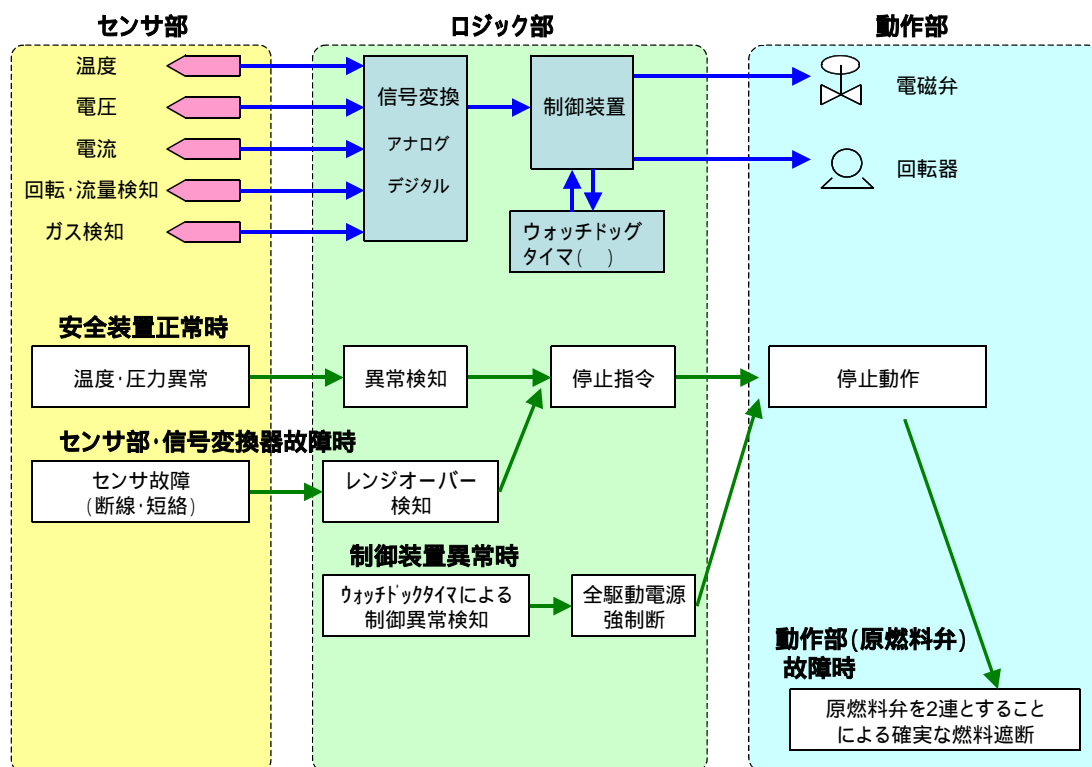
異常が生じたときに、制御装置からの制御信号によって定置用燃料電池を安全に停止させるための構成部品であり、代表的なものとして原燃料遮断弁が掲げられる。

原燃料遮断弁は、それぞれに独立した制御信号が出力される二つの弁が直列に設置されており、万一片方の弁が閉にならない状況になったとしても、他方の弁で確実に閉止できる構造となっている。

また、この弁はノーマルクローズタイプとなっていることから、駆動源が喪失した場合は閉となり原燃料の供給を遮断することができる。

これら安全装置の構成を図 3-2-5 に示す。

以上のことから、これら安全装置はセンサー部、ロジック部及び動作部の一部又は全部が故障したとしても定置用燃料電池を安全に停止させることができるフェイルセーフ（あらかじめ故障が起こることを想定し、被害を最小限にとどめるよう工夫しておくという安全思想。）に基づき設計されていることが確認できる。



ウォッチドッグタイマ：制御装置が正常に動作しているかどうかを常時監視するタイマ機能である。ある一定時間毎に相互で通信を取り合うように作られたもので、この通信が途切れた時点で制御装置の異常が発生したことを検出する。

（図面提供：社団法人 日本電機工業会）

図 3-2-5 安全装置の構成及びフェイルセーフ設計

(2) 安全装置等に係る検証実績について

安全装置に係る検証は、他の調査検討において実施されている。

以下に概要を述べる。

ア 制御機能を失った場合の安全性について（添付資料 6）

定置用燃料電池が定格出力後、30分以上経過して、貯湯槽から出湯している状態で、ウォッチドックタイマーの出力を停止することによって、制御装置異常を模擬する実験が定置用ミレニアム事業において実施されている。

この検証実験では、図 3-2-6 に示すように、ウォッチドックタイマーの出力停止とともに、原燃料遮断弁等の補機への給電が停止していることが確認された。

以上のことから制御装置異常の際も、ウォッチドックタイマー機能にて安全を確保できることが確認されたとされている。

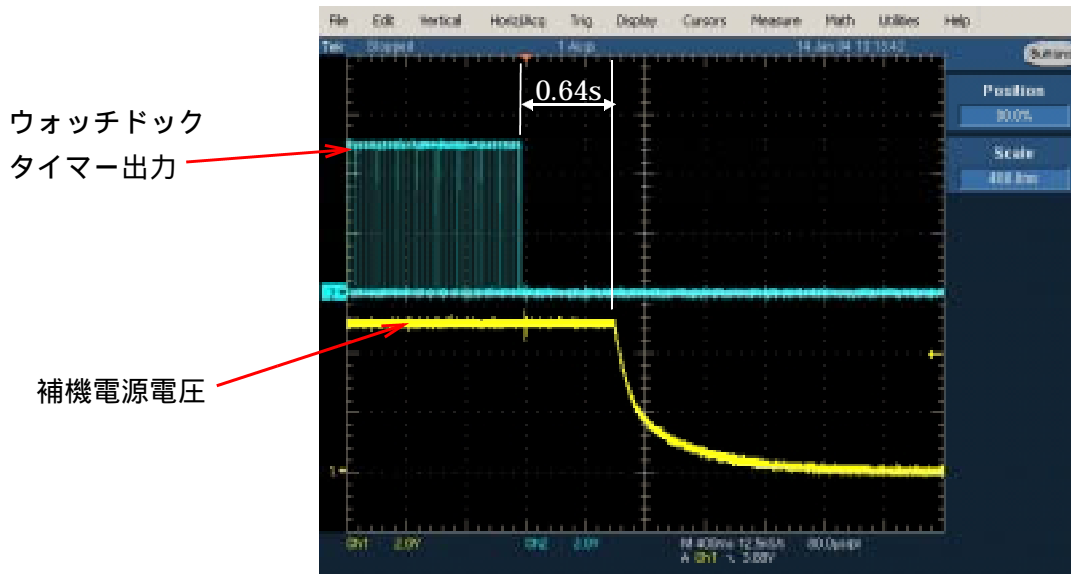


図 3-2-6 ウォッチドックタイマー動作

イ 燃料ガス遮断試験（添付資料 7）

定置用燃料電池は、燃料昇圧用の昇圧器を有しているため、燃料ガス遮断時に昇圧器の動作遅れから燃料配管が負圧になる可能性があることや、燃料ガス遮断時のインターロック確認も重要と判断されたことから、定格運転状態において外部に設置した燃料ガス入口栓を閉じた場合に、システム動作、外観及びパラメータ推移に異常がないこと、負圧となる可能性がある部分（ガス入口栓～昇圧器入口）に変形がないことについての確認が定置用ミレニアム事業で実施されている。

その結果、全ての供試体において定置用燃料電池の燃料入口配管前に取付けたガス入口栓を閉じた場合に、安全に停止することが確認されている。また、供試体によっては停止後にガス入口栓から昇圧器までの区間の圧力が負圧に至っていたが、これらについては変形等がないことが確認されている。

ウ 停電試験（添付資料 7）

定格運転状態において、定置用燃料電池に接続されている送受電回路を同時に開放することにより停電を発生させた場合に、システム動作、外観及びパラメータ推移に異常がないことの確認が定置用ミレニアム事業で実施されている。

その結果、それぞれの供試体に応じた規定のシステム動作（ 瞬時に停止する、 所定のシーケンスを経て停止する、 自立運転に移行し、 所定の時間経過後に停

止する)が行われ、安全に停止することが確認されている。

エ 制御装置異常試験(添付資料7)

定格運転状態において定置用燃料電池の制御装置のみの電源を遮断することにより制御装置異常を発生させた場合に、システム動作、外観及びパラメータ推移に異常がないことの確認が定置用ミレニウム事業で実施されている。

その結果、いずれの供試体とも制御装置の電源遮断とともに、燃料供給が遮断され、安全に停止することが確認されている。

(3) ハザード評価表に対応する安全装置

3.1.2 で示したハザード評価表を安全装置の種類別に集計した結果は、添付資料8に示すとおりであり、パッケージ内温度異常及びCO除去器温度異常に起因するハザードに対する安全装置の集計結果を表3-2-7に示す。

表3-2-7 から一のハザードに対して複数のセンサーが関連していることが確認できる。

表 3-2-6 パッケージ内温度異常検知及びCO除去器温度異常検知に起因するハザードに対する安全装置

(パッケージ内温度検知)

	部位・機器	発生事項	起こりうる現象	ハザード評価 表通し番号	検出器
1	CO除去器	ブロアー過回転	ファン過熱/ファンコイル焼損	95,96,97	ケーシング内温度検知器
2	換気ファン	回転数低下・ファン停止	ケーシング内温度高	106,109	
3	換気口	閉塞	ケーシング内温度高	111	
4	改質器	水蒸気不足	改質器温度高/ケーシング温度高	19	
5	バーナ	燃料過流入	改質器温度高/ケーシング温度高	20	
6	CO除去器	空気過流入	CO除去器温度高/ケーシング温度高	45	
7	熱回収系	過回転	ポンプ過熱/セルスタック温度高/ケーシング温度高	77,78	
8		水量低下(水漏れ)	冷却水温度高/セルスタック温度高/ケーシング温度高	74,80	
9	熱回収系	水漏れ	排気温度高/ケーシング内温度高	34,35	
10	導入部	断水(水蒸気不足)	カーボン析出・閉塞/ケーシング温度高	56,69,70	
11	フィルター	詰まり	改質器温度高/ケーシング温度高	61	
12	イオン交換	詰まり	改質器温度高/ケーシング温度高	66	
13	改質器	排気漏れ	ケーシング内温度高	27	

一のハザードに対して複数のセンサーが関与している例

(CO除去器温度異常検知)

	部位・機器	発生事項	起こりうる現象	ハザード評価 表通し番号	検出器
1	CO除去器	空気過流入	CO除去器温度高/ケーシング温度高	45	CO除去器温度検知器
2	CO除去器	ブロアー過回転	ファン過熱/ファンコイル焼損	95,96,97	

前記(1)、(2)及び(3)から、定置用燃料電池の安全装置は次に示す信頼性を有しており、これらにより実態とリスクランクの検討結果との間に整合性はとれていると考えることができる。

安全装置は、センサー部、ロジック部及び動作部から構成されており、これらの一部又は全部が故障したとしても、定置用燃料電池を安全に停止することができること。一のハザードに対して検出方法の異なる複数のセンサーが関与していること。

3.2.4 構造及び機能に係る安全対策

3.2 では、定置用燃料電池の構造及び機能に着目した火災予防上の安全性についての検討を行ってきたものであるが、安全対策を講じた後の定置用燃料電池の個々のハザード 176 件に対するリスクランクは「危険性がない」と判断されたものが 174 件（98.9 %）、「許容できる更なる安全対策は不要」と判断されたものが 2 件（1.1 %）であり、安全対策を講じた定置用燃料電池は火災予防上安全であると考えることができる。

また、176 件のハザードに対する安全対策は全て自主基準を含めた関係基準等によって規定されていることから、これらの関係基準等が遵守されていることを前提とすれば、火災予防上の安全性は担保されていると考えることができる。

3.3 設置方法等による要件の整理

3.2 で示した定置用燃料電池のリスクランクの検討は、定置用燃料電池の構造及び機能に着目した安全性評価であり、火災予防上の観点からは定置用燃料電池の設置方法等に関する評価を行う必要がある。

そこで、現行の火気省令及び火災予防条例（例）に基づき設置場所（屋内・外）及び位置に係る事項、維持管理に係る事項、附属設備（燃料タンク、煙突等）に係る事項について、定置用燃料電池に適用すべきと考えられる事項の整理を行った。

火災予防条例（例）では、対象火気設備に関する規定の条文構成は、冒頭で「炉」に関する事項を規定しており、以下の対象火気設備（発電設備等）については、その設備のみに係る規定の他、炉に係る規定又は他の対象火気設備に係る規定を準用して適用させる構成としている。

整理の手法としては、現行の条例（例）に規定されている事項（条文）を定置用燃料電池に当てはめた場合、設置が予想される環境、維持管理の方法等を考慮して、火災予防上の見地から現行規定の適用について必要があるか否かを分類・整理したものである。

整理した結果を表3-3-1に示す。表3-3-1から現行規定の適用を要しない事項としては、現行の発電設備の規定が内燃機関によるものについて規定されていることに基づく防振のための措置、点検整備の実施等が該当し、不燃材料で区画された場所への設置及び建築物からの 3 m の保有距離に関する規定については、3.2で示したように定置用燃料電池に発生したハザードは信頼性のある安全装置によって火災に至る可能性が極めて低いこと、かつ、万が一火災が発生した場合でも表3-3-2に示すように保有する熱量が極めて小さく周辺への影響も小さいと考えられることから適用しないことが可能である。