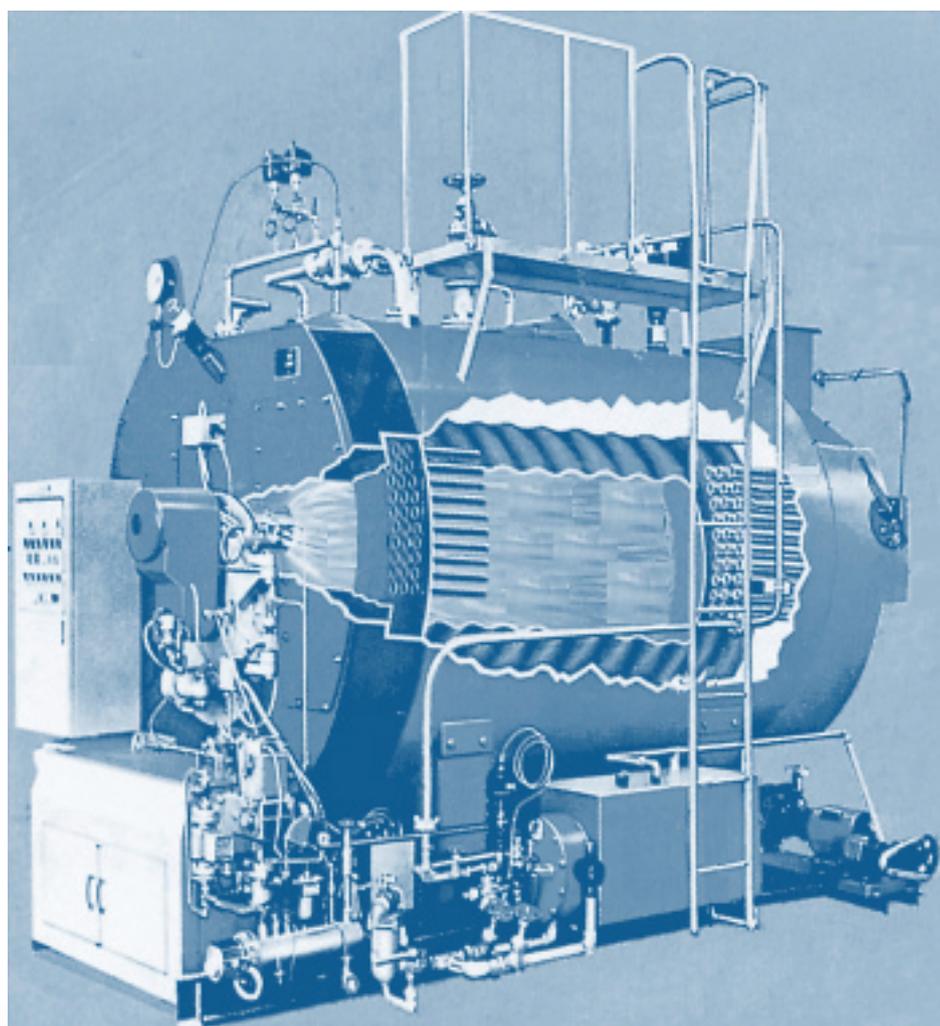


# 機能安全が可能にする機械の安全確保

－ ボイラー編 －



厚生労働省では、「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針」（平成28年厚生労働省告示第353号）を発行し、機能安全を活用した機械等の安全確保を推進しています。

ボイラーにおいては、平成28年9月に、機能安全による安全確保を労働安全衛生法令に位置づけ、安全規制の高度化を図るため関係法令の改正が行われ、平成29年4月に施行されました。平成29年5月には、適合自動制御装置の認定実施要領が定められ、登録適合性証明機関による証明も始まりました。

このパンフレットは、ボイラーへの機能安全の導入について、ご理解いただきたい概要をまとめたものです。

平成29年度 厚生労働省委託

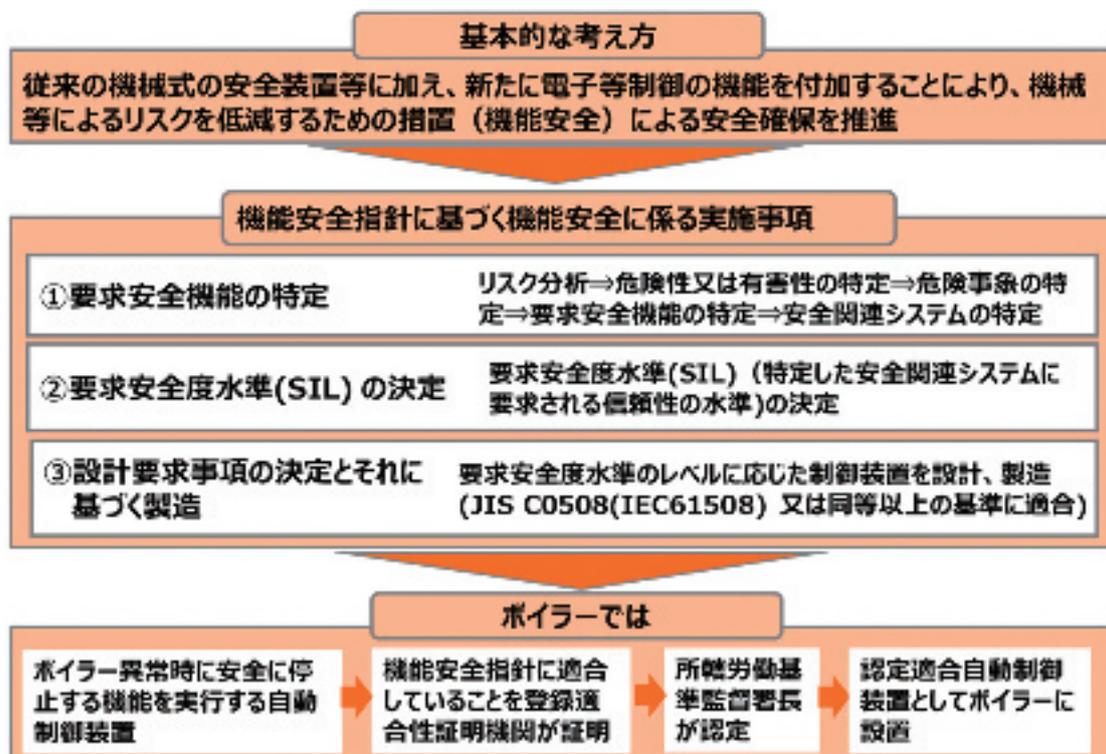
**中央労働災害防止協会**

# ボイラーへの機能安全の導入

## ●機能安全の適用による安全の高度化

近年、電気・電子技術やコンピュータ技術の進歩に伴い、これらの技術を活用することにより、機械等に対して高度かつ信頼性の高い制御が可能となってきています。機能安全とは、従来の機械式の安全装置等に加え、新たに制御の機能を付加することによってリスクを低減し、機械等の安全を確保する措置です。厚生労働省では、「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針」（平成28年厚生労働省告示第353号、以下「機能安全指針」という）を発行して、機能安全による機械等の安全確保を推進しています。

機能安全指針では、機能安全に係る3つのステップの実施事項を規定しています。



## ●ボイラーでは

- ▶ ボイラーにおいては、平成28年9月に、機能安全による安全確保を労働安全衛生法令に位置づけ、安全規制の高度化を図るため、関係法令の改正が行われました。
- ▶ ボイラー異常時に安全に自動停止する機能を有する自動制御装置を備えたボイラーについては、法令上の特例を受けられるようになります（詳細は6ページ参照）。
- ▶ 法令の特例を受けるためには、所轄労働基準監督署長に、登録適合性証明機関が発行した機能安全指針への適合性を証明する書面等を提出し、認定適合自動制御装置としての認定を受ける必要があります。

# 機能安全指針に基づくボイラー安全関連システムの設計

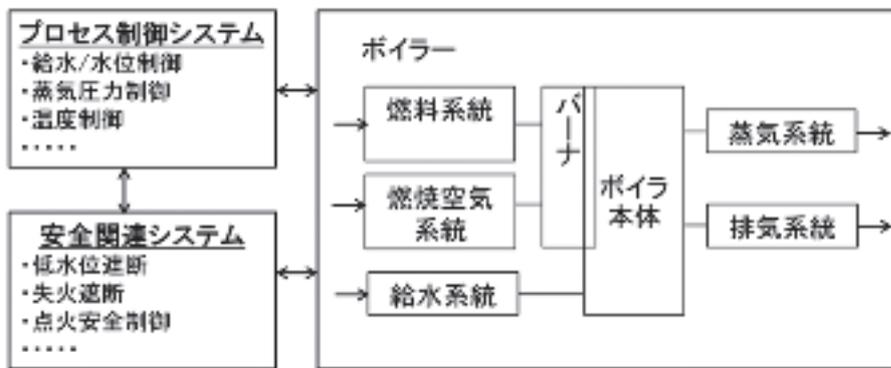
## 機能安全指針—①要求安全機能の特定

### ① -1危険性又は有害性及び危険事象の特定

はじめに、リスクを解析することにより、労働者の就業に係る危険性又は有害性を特定し、その結果として発生する危険事象を特定します。

## ●リスクアセスメント範囲の指定

リスクアセスメントの開始にあたって、対象ボイラーの仕様を明確にし、リスクアセスメント実施するボイラー設備の範囲を指定します。

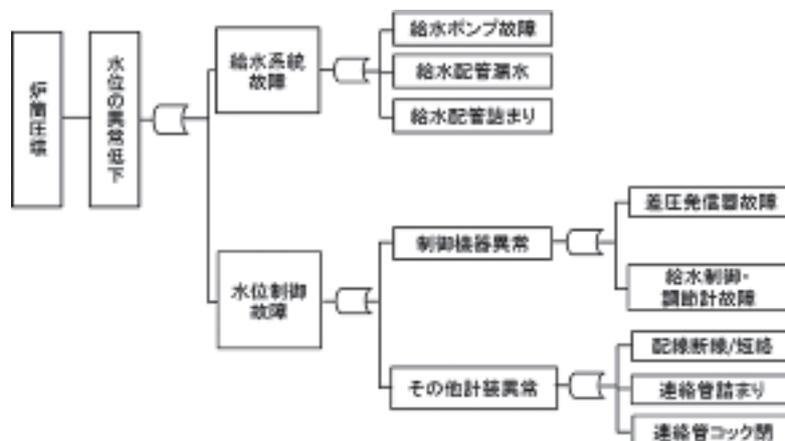


## ●ボイラーの仕様及び使用条件

ボイラー種類、型式、一般仕様・容量、制御方式などを仕様として決定し、使用条件として、対象ボイラーの取扱い資格を指定し、1日あたりの運転時間、ボイラー設置場所/設置環境、保守・点検の内容とその周期などを決定します。

## ●リスク分析

決定したリスクアセスメント範囲、仕様、使用条件を基にして、故障モード影響分析 (FMEA) やフォールトツリー解析 (FTA)、ハザード・オペレーション分析 (HAZOP) 等の手法を使用してリスク分析を実施し、危険性又は有害性、その結果として生じる危険事象を特定します。



炉筒煙管ボイラーの FTA 図例 (水位の異常低下)

## 機能安全指針—①要求安全機能の特定、②要求安全度水準（SIL）の決定

### ① -2要求安全機能の特定

特定された危険事象を防止するために必要となる要求安全機能を特定します。

（要求安全機能とは、危険性又は有害性を特定した上で、それによるリスクを低減するために要求される電気・電子・プログラマブル電子制御の機能）。

### ① -3安全関連システムの特定

特定した要求安全機能を実現するために必要な安全関連システムを特定します。この安全関連システムは、検出部（センサー）等の入力部、論理処理部及びアクチュエータ等の出力部が含まれるものであり、ボイラーを運転制御するシステムから独立していることが望ましいとされています。

### ②要求安全度水準（SIL）の決定

要求安全度水準とは、特定した安全関連システムに要求される信頼性の水準であり、国際安全規格 IEC61508/JISC0508の基準又はこれと同等以上の基準に適合することが必要です。要求安全度水準は、労働者が危険性又は有害性にさらされる頻度、生ずる負傷又は疾病の重篤度、危険事象を回避する可能性、要求安全機能の作動が求められる頻度等を用いた定性的評価によって決定します。

## ●要求安全機能の特定、要求安全度水準の決定、使用者への情報提供

FTAなどで実施したリスク解析の結果に基づき、下表のように要求安全機能を特定し、要求安全機能ごとの要求安全度水準、使用者への情報を決定します。

要求安全機能の特定							安全度水準決定（SIL）					使用者への情報	
No	キーワード	危険側故障	危険事象	検出方法	要求安全機能	作動要求に関する事項（構造/機械式安全装置）	C	F	P	W	SIL	製造者追加対策	使用者追加対策
1	水位異常低下	給水ポンプ故障	過熱/空炊きによる火災または圧壊	低水位検出器	水位が安全低水面以下になった場合に燃料を遮断する（低水位遮断）	「ボイラーの低水位による事故の防止に関する技術上の指針」の構造要求に適合	C <sub>D</sub>	F <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	W <sub>1</sub>	2	給水圧力計の設置	給水圧力/水面計/水位制御の日常点検
2	水位異常低下	給水配管の漏水/詰まり	過熱/空炊きによる火災又は圧壊	低水位検出器	水位が安全低水面以下になった場合に燃料を遮断する（低水位遮断）	「ボイラーの低水位による事故の防止に関する技術上の指針」の構造要求に適合	C <sub>D</sub>	F <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	W <sub>1</sub>	2	給水圧力計の設置	給水系統の配管、機器の漏れの日常点検

リスク解析による要求安全機能ごとの要求安全度水準の決定の記述例

### 機能安全指針—③設計要求事項の決定とそれに基づく製造

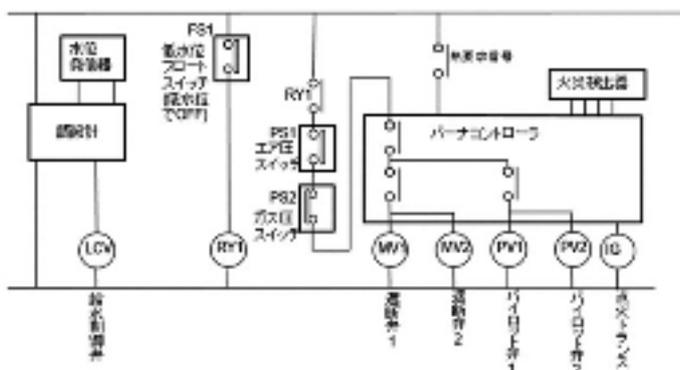
要求安全度水準のレベルに応じて、作動失敗の確率の基準を満たすことができるように、制御装置を設計し、製造します。

安全度水準は、危険事象に至る安全関連システムの故障（危険側故障）の確率で表され、危険側故障確率、検査間隔、平均修理時間、共通原因故障によって計算されます。

製造者は、安全関連システムの多重化による共通原因故障の低減、自動的な診断等による検知できない危険側故障に係る確率の低減、検査間隔の短縮等を安全関連システムに設計上求められる事項として定め、これらに基づいて製造します。

### ●機能ブロック図、信頼性ブロック図

機能ブロック図を作成し、それをもとにして要求安全機能毎に信頼性ブロック図を作成します。



機能ブロック図（低水位 / 燃焼系遮断の例）

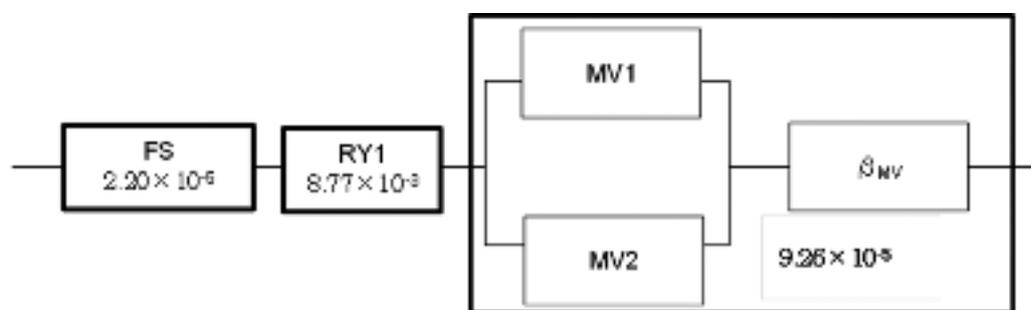


FS：低水位スイッチ、RY1：リレー、MV：遮断弁  
β<sub>MV</sub>：遮断弁1、2の共通原因故障

信頼性ブロック図（低水位遮断の例）

### ●平均危険側失敗確率（PFD<sub>avg</sub>）の計算と安全度水準の評価

信頼性ブロック図の各構成要素の危険側故障率、プルーフテスト間隔（検査間隔）、平均修理時間、共通原因故障から、平均危険側失敗確率（PFD<sub>avg</sub>）を計算します。



$$PFD_{avg} = 2.20 \times 10^{-6} + 8.77 \times 10^{-3} + 9.26 \times 10^{-5} = 8.89 \times 10^{-3}$$

となり、この PFD<sub>avg</sub> は、安全度水準 SIL2 に該当します。

（安全度水準を確定するには、アーキテクチャ制約の要求からも評価が必要になります）

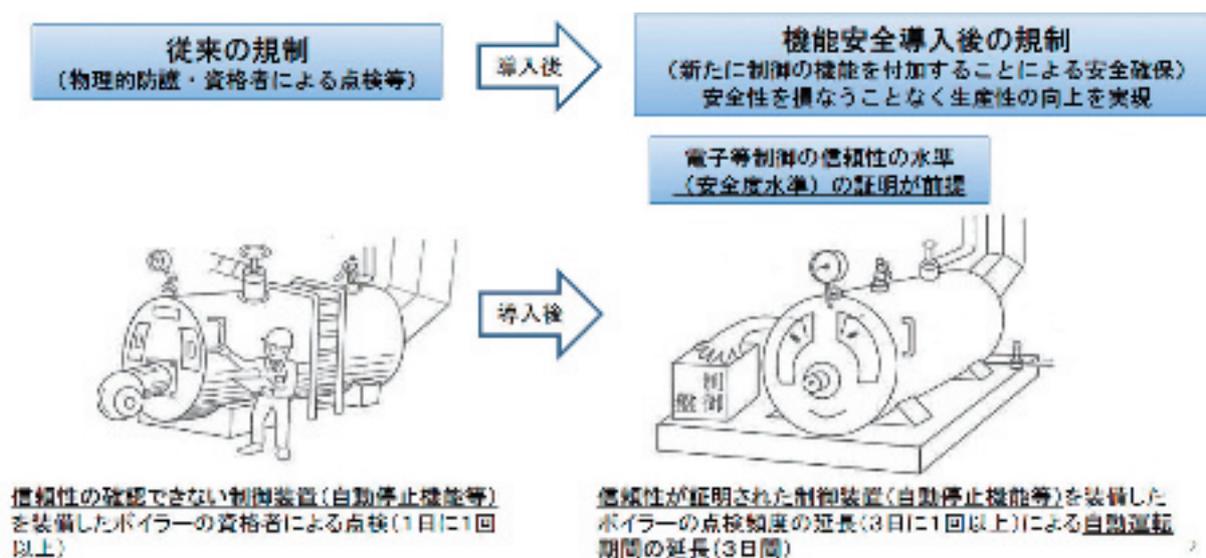
以上により、①-2の表で示した要求安全機能（低水位遮断）と要求安全度水準（SIL2）が、本例の構成で達成されたこととなります。

## 機能安全指針に適合するボイラー取扱いの法令上の特例

### ●ボイラー及び圧力容器安全規則の改正（平成29年4月1日施行）

ボイラーは、容器の厚さや安全弁といった物理的防護に加え、ボイラー及び圧力容器安全規則（以下「ボイラー則」という。）第25条により、ボイラー技士による常時監視や、水面測定装置の機能の1日1回の点検を義務付けています。従来、異常があった場合に自動的にボイラーを停止する「自動停止機能」は設けられていましたが、その信頼性についての定めは特になく、最後の砦として、作業主任者がボイラーを常時監視し、異常があった場合には、ボイラーを停止させることを前提としていました。

機能安全を導入すれば、自動制御の信頼性である「安全度水準（SIL/Safety Integrity Level）」により、いざというときに自動制御が故障する確率が非常に低いことが定量的に明らかになります。このため、そのような証明がされた自動制御装置を装備したボイラーについては、作業主任者がボイラー設置場所から1時間程度離れた場所で勤務することを認めるとともに、水面測定装置の機能の点検の頻度を3日に1回とすることが認められます。これにより、ボイラー技士の負担軽減と生産性の向上を図ることが可能となります。



### ●遠隔制御監視基準の改正

ボイラーの遠隔制御監視基準等についての通達も改正され、従来の方法（別添1、別添2）に加えて、別添3が追加となり、情報端末を常時携帯することや、3日に1回ボイラー設置場所で点検を行うなどの一定の条件を満たせば、ボイラー取扱作業主任者は、少なくとも1時間程度でボイラー設置場所に到達できる場所で勤務することが認められこととなりました。

ボイラーの遠隔制御監視基準等について（基発0331001号）	
従来の基準	別添1：遠隔監視室で監視するボイラー <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボイラー運転中は常時遠隔監視室にて監視</li> <li>・ボイラー設置場所で1日に1回以上点検</li> </ul>
	別添2：有線、構内 PHS 等を用いた監視装置で監視するボイラー <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボイラー運転中は常時監視装置にて監視</li> <li>・ボイラー設置場所で4時間に1回以上点検</li> </ul>
平成28年9月 基発0930第35号 追加された基準 機能安全導入により	別添3：認定適合自動制御装置を備えたボイラー <ul style="list-style-type: none"> <li>・1時間程度でボイラー設置場所に到達できる場所で勤務</li> <li>・起動後1時間以内、その後は72時間以内ごとに点検</li> </ul> 認定適合自動制御装置とは、 ボイラーの運転の状態に係る異常があった場合に当該ボイラーを安全に停止させることができる機能その他の機能を有する自動制御装置であって、機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針（平成28年厚生労働省告示第353号）に適合していると所轄労働基準監督署長が認定したもの

### ●ボイラー取扱作業主任者の選任基準の改正

さらに、ボイラー則第24条（ボイラー取扱作業主任者の選任）の第2項第4号に規定に基づき伝熱面積に参入しないことができるボイラーの自動制御装置に関する告示も改正され、認定適合自動制御装置を備えたボイラー（但し最大の伝熱面積を有するボイラーを除く）も伝熱面積に参入しないボイラーとすることが可能となりました。

ボイラー則第24条（ボイラー取扱作業主任者の選任）第2項第4号 概要：関係告示（平成十六年厚生労働省告示第百三十一号）で定めた自動制御制御と装置を備えたボイラーは、ボイラーの伝熱面積の合計に算入しないことができる。	
従来の基準	関係告示：厚生労働省告示第百三十一号（平成十六年） ボイラー及び圧力容器安全規則第二十四条第二項第四号の厚生労働大臣が定める自動制御装置は、次の各号のいずれにも該当する自動制御装置とする。一～三（略）
追加された基準 機能安全導入により	関係告示：厚生労働省告示第354号（平成二十八年九月） 第二十五条第二項の規定により厚生労働大臣が定める技術上の指針に適合していると労働基準監督署長が認定した自動制御装置 (認定適合自動制御装置)

### ●登録適合性証明機関による適合証明、所轄労働基準監督署長による認定

「労働安全衛生法及びこれに基づく命令にかかる登録及び指定に関する省令」が改正され、自動制御装置が機能安全指針に適合していることを証明する第三者機関として、「登録適合性証明機関」が新設されました。労働基準監督署長の認定を受けようとする事業者は、「登録適合性証明機関」が証明した適合証明書及び下記の付属書面を添付して所轄労働基準監督署長に申請します。この所轄労働基準監督署長の認定に係る基準、手続き等を定める「適合自動制御装置の認定実施要領」が平成29年5月に発行されました。

登録適合性証明機関による適合性証明	
<b>対象範囲：</b> ー制御システム全体として要求安全度水準の適合性を証明 ー証明の対象は、新規設置と既存の改修等による設置 <b>審査内容：</b> ー機能安全指針に適合していること ー同一型式、量産品の場合、製造者に対する定期的な監査 <b>付属書に含める内容：</b> ー証明書番号と発行日付、申請日、申請者、適合性証明を行った証明員名、実施管理者名	ー参照した規格リスト、 ー付属書に使用される用語の定義 ー証明された型式の概要（製品名、商品名、型式、商品の用途と開発の目的など）、外観、 ー安全状態、証明された機能安全の範囲、 ー SIL 値、SIL 値を達成するための条件、 ー証明に使用した図面リスト、 ーシステム要求に対する結果。 ー更新時、サーベイランス実施の要否
<b>要求安全度水準の決定のための使用条件の把握</b>	<b>所轄労働基準監督署長による確認</b>
ーボイラーの製造者と使用者が連携して使用条件を決定 ー量産される同一型式のボイラーは、あらかじめ一定の使用条件を設定しておくこと。	ー自動制御装置の使用条件及び用途・仕様 ー被制御ボイラーの種類との整合性

## 機能安全活用テキストと実践マニュアル

本パンフレットとともに作成した「機能安全活用テキスト」、「機能安全活用実践マニュアルーボイラー編ー」では、ボイラーの安全関連システムへ機能安全を導入する上で必要となる機能安全の考え方や、設計手順が解説されています。機能安全について学習する場合はテキストを、ボイラーの安全関連システムの設計手順について学習する場合はマニュアルをご覧願います。主な項目は次の通りです。（これら図書は厚生労働省ウェブサイトに掲載される予定です）

### 「機能安全活用テキスト」

- ・ 機械設備の安全概論
- ・ 法令と規格体系
- ・ リスクアセスメントとリスク低減
- ・ 機械安全における機能安全の適用
- ・ 機能安全による安全関連システムの設計（ハードウェア、ソフトウェア、その他）
- ・ 妥当性確認

### 「機能安全活用実践マニュアルーボイラー編ー」

- ・ ボイラーのリスクアセスメント（機械類の制限の決定）
- ・ ボイラー制御系のリスクアセスメント（リスク分析）、
- ・ 要求安全機能の特定、
- ・ 要求安全度水準の決定
- ・ 使用者への情報
- ・ 要求安全度水準に適合する設計（システム設計）
- ・ ボイラーの構成例、SIL 評価例
- ・ 妥当性確認
- ・ 適合性証明
- ・ 演習事例