



平成28年12月23日

平成28年度 長岡技術科学大学

安全安心社会研究センター特別講演会

労働安全衛生法令への 機能安全の取り入れ



厚生労働省安全課

副主任中央産業安全専門官 安井 省侍郎

本日の内容

I 労働安全衛生法令への機能安全の取り入れに関する検討

II 関係法令の改正

III 機能安全指針の制定

IV 考察

機能安全の適用に関する留意事項

機能安全の安衛法令への取りいれの検討

1 専門家検討会※設置の目的

※機能安全を用いた機械等の取扱規制のあり方に関する検討会

- 近年、技術の進歩に伴い、国際規格において、従来の機械式の安全装置等に加え、**機能安全**（新たに電子等制御の機能を付加することによって、機械等の安全を確保する方策）が採用されている。
- 諸外国では、ボイラー等の一定の危険性を有する機械等について、**機能安全の要求水準を満たすことを前提に、機械等の取扱いに関する規制を見直す動き**がある。
- これらを踏まえ、一定の危険性を有する産業用の機械等に関して、**機能安全の要求水準を満たす機械等の取扱いに関する規制のあり方**について検討する。

2 専門家検討会での検討事項

- ① 機械等のリスクに応じた**機能安全の安全度水準の設定**のあり方※
- ② 機能安全の安全度水準を満たす機械等の**取扱いに関する規制**のあり方※※
- ③ 機能安全の安全度水準の**第三者認証**のあり方※※

※ 告示事項（技術上の指針）

※※ 省令事項（ボイラー及び圧力容器安全規則（以下「ボイラ則」という。）、労働安全衛生法及びこれに基づく命令に係る登録及び指定に関する省令（以下「登録省令」という。））

3 専門家検討会参集者

氏名	所属
池田 博康	(独)労働安全衛生総合研究所機械システム安全研究グループ 統括研究員
石田 豊	(一社)安全・環境マネジメント協会 会長
梅崎 重夫	(独)労働安全衛生総合研究所機械システム安全研究グループ 部長
杉田 吉広	テュフラインランド ジャパン株式会社 産業サービス部 部長
須藤 浩人	(一社)日本ボイラ協会 技術普及部 次長
平尾 裕司	長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授
福田 隆文	長岡技術科学大学 システム安全専攻 教授
向殿 政男	明治大学 名誉教授(座長)

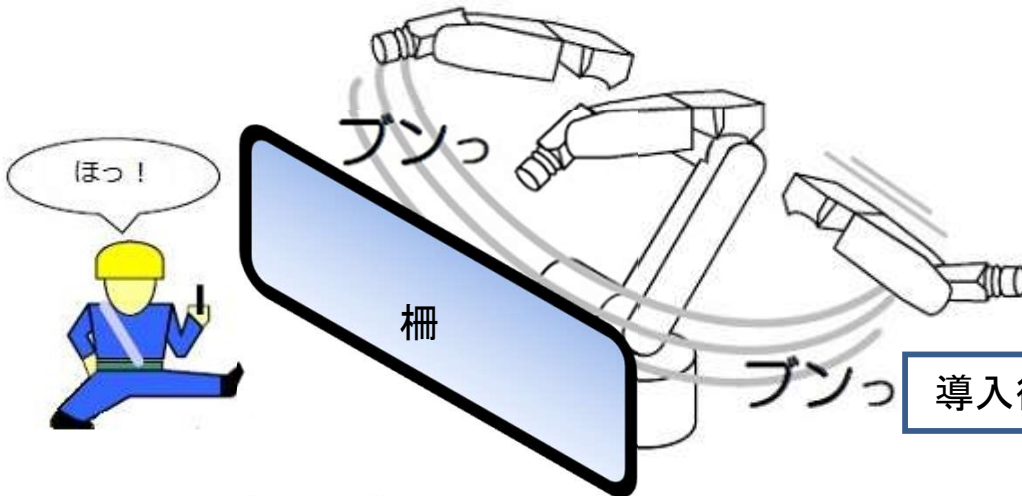
4 スケジュール

- 専門家検討会の開催（昨年12月～本年3月）
- 検討会報告書公表（3月）
- 省令案等のパブリックコメント（7月～8月）
- 省令案の労働政策審議会諮問（9月6日）
- 省令公布（9月20日）
- 省令施行（平成29年4月1日）

機能安全の導入による安全規制の高度化

従来の規制

(物理的防護・資格者による点検等)

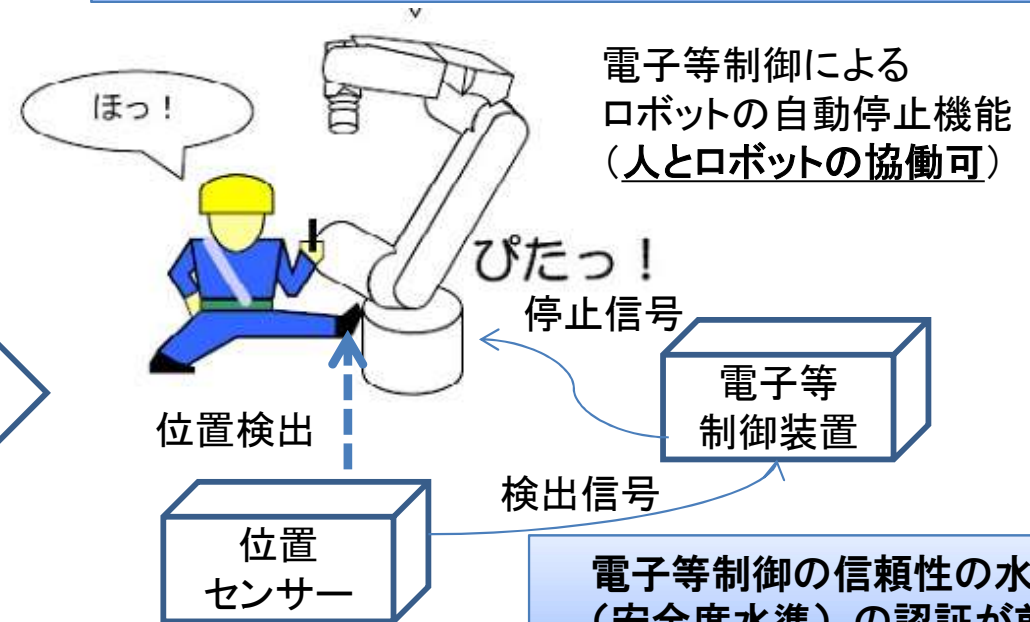


産業用ロボットの
周囲の柵等の設置
(人とロボットは協働不可)

導入後

機能安全導入後の規制

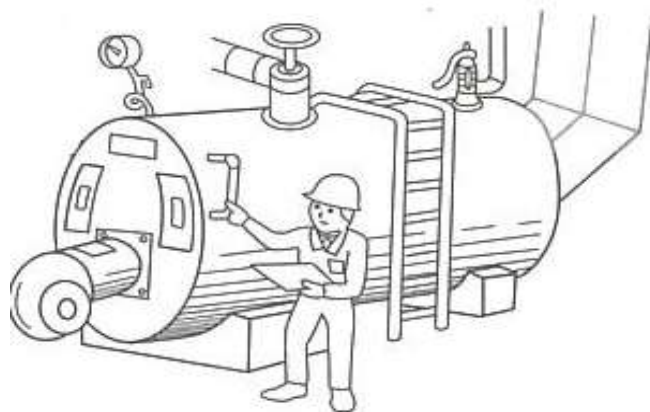
(新たに制御の機能を付加することによる安全確保)
安全性を損なうことなく生産性の向上を実現



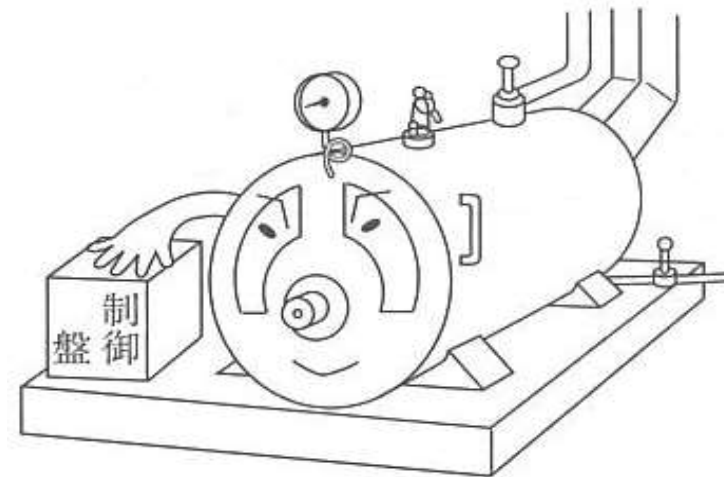
電子等制御による
ロボットの自動停止機能
(人とロボットの協働可)

電子等制御の信頼性の水準
(安全度水準)の認証が前提

導入後



信頼性の確認できない制御装置を装備したボイラーの
資格者による点検(1日1回)



信頼性が認証された制御装置を装備したボイラーの点検頻度の
延長(3日1回)による自動運転期間の延長(3日間)

ボイラー則改正の内容(機能安全)

基本的考え方(報告書抜粋)

- **制御装置等の点検・検査等の頻度について**
危険事象の重篤度の大きな機械等^(注)への対応
 - ・ 事故によって複数の死亡又は後遺障害をもたらすおそれのある機械等(注)の制御装置等については、資格者による一定頻度の点検等が義務付けられているものがある。
 - ・ これら点検等は、制御装置の故障を早期に発見して事故を防止する趣旨であることから、電子等制御の安全関連システムの要求安全度水準が高くなることに応じ、資格者による点検等の頻度を下げることは妥当である。
- (注)例:労働安全衛生法第37条で規定する特定機械等(ボイラー、第一種圧力容器、クレーン、デリック、エレベータ等)

ボイラー則に規定する事項

1. 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厚生労働大臣の定める技術上の指針に適合していることを所轄労働基準監督署長が認めたものを備えたボイラーについては、水面測定装置の機能の点検の頻度を、1日に1回以上必要であるところ、3日に1回以上^(※)とすることができる。
※ 欧州規格等においては、機能安全を採用しているボイラーに係る検査間隔を72時間以下とすることを定めている。
2. 1の所轄労働基準監督署長の認定を受けようとする事業者は、適合自動制御ボイラー認定申請書に、当該申請に係る自動制御装置が1の厚生労働大臣が定める技術上の指針に適合していることを厚生労働大臣の登録を受けた者が証明した書面を添付して所轄労働基準監督署長に提出しなければならない。

登録省令の改正の内容①(適合性証明機関)

基本的考え方(報告書抜粋)

- 専門的な第三者機関による適合性証明の必要性
- 電子等制御の安全機能の設計が、機能安全の基準に適合しているかを事業者(機械等の使用者)が判断することは困難であるため、専門的な第三者機関による適合性の証明が必要である。
- 製造された電子等制御の機能が、機能安全の基準に適合しているかについても、同様に、専門の第三者機関による適合性の証明が必要である。

登録省令に規定する事項

厚生労働大臣の登録を受けて適合性の証明を行う登録適合性証明機関に関して、以下の規定を設ける。

1. 登録の方法
登録申請の書類等
2. 登録基準
欠格条項、試験で使用する機器、実施管理者の資格、適合性証明員の資格等
3. 実施義務
受託義務、適合性証明員による証明、実施方法及びそれに基づく公正な証明、証明書の交付、実施結果報告等
4. 業務規程
実施方法、料金、業務時間・休日、帳簿等の保存、財務諸表の謄本請求に係る費用等
5. 適合命令及び改善命令
6. 登録の取消し 等

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概要

1 背景と基本的考え方

- 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た。
- 従来の機械式の安全装置等に加え、新たに電子等制御の機能を付加することにより、機械等によるリスクを低減するための措置(機能安全)及びその決定方法のために必要な基準を示す。

2 機能安全に係る実施事項

① 要求安全機能の特定

製造者は、機械等による危険性又は有害性(危険性等)を特定した上で、リスクを低減するために要求される電子等制御の機能(要求安全機能)を特定する。



② 要求安全度水準の決定

製造者は、要求安全機能を実行する電子等制御のシステム(安全関連システム)に要求される信頼性の水準(要求安全度水準)※を決定する。



③ 設計要求事項の決定とそれに基づく製造

製造者は、安全関連システムが要求安全度水準を満たすために求められる事項を決定し、それに従って機械等を製造する。

3 要求安全度水準の決定

- ① 製造者は、危険性等を特定し、その結果として発生する事象(危険事象)を特定。
- ② 危険事象毎に以下の要素により、要求安全度水準を決定
 - ・危険性等にさらされる頻度(時間)
 - ・生ずる負傷又は疾病の重篤度
 - ・危険事象からの回避可能性
 - ・危険事象の発生頻度

4 要求安全度水準を達成する方法

- ① 数値計算法(安全度水準(SIL))
 - ・平均危険側故障確率、検査間隔、平均修理時間、共通原因故障を計算式に代入し、数值的に計算する方法
- ② 要件の組合せ法(パフォーマンスレベル(PL))
 - ・構造要件(カテゴリ)、平均危険側故障確率、診断範囲、共通原因故障の組み合わせによって決定する方法。

※要求安全度水準: 危険事象を生ずる安全関連システムの故障の確率(危険側故障確率)で表される。

リスクの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例

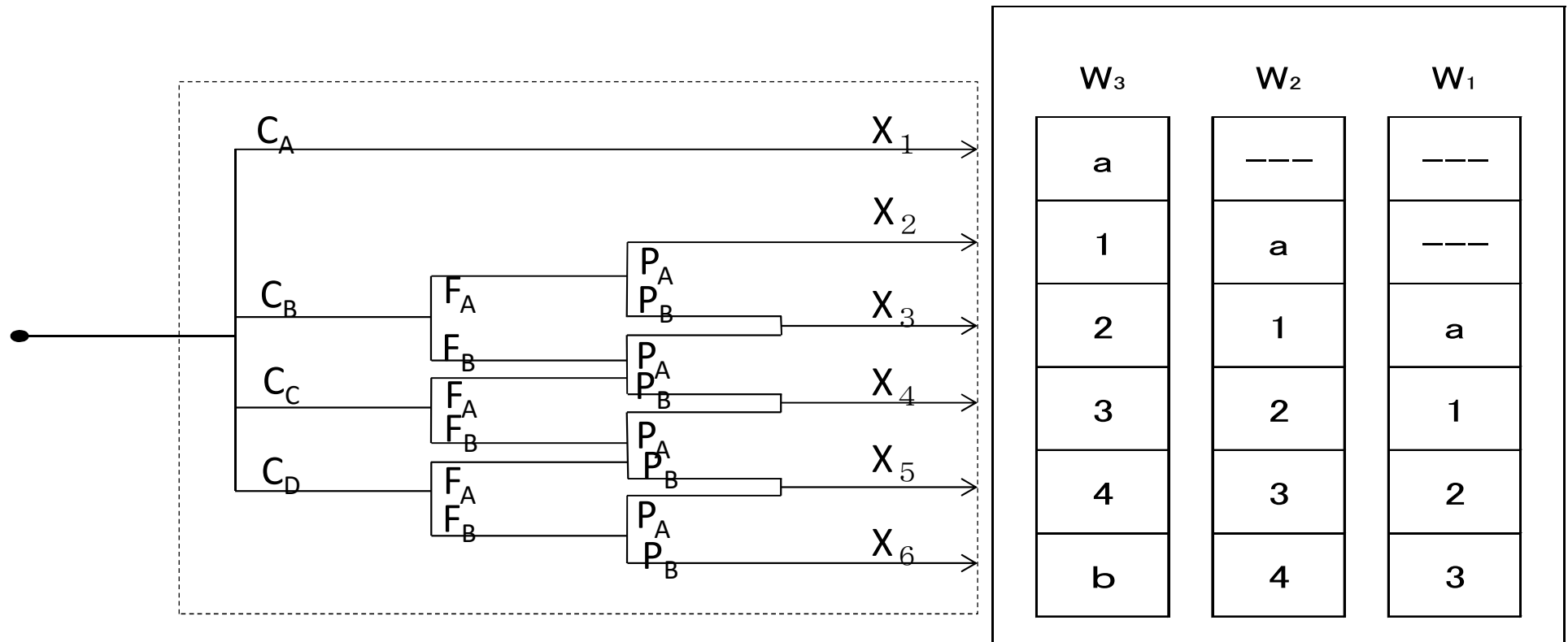
(国際電気標準会議の規格61508-5附属書Dを参考にしたもの)

キーワード	危険側故障	危険事象	検知方法	要求安全機能	作動要求に関する事項	C	F	P	W	SIL (注)	製造者追加対策	設置者追加対策
蒸気圧力	消費側での蒸気排出の停止	熱交換器での圧力上昇	熱交換器圧力リミッター	リミッターによる熱源のシャットダウン	機械式安全弁の信頼性	C _D	F _A	-	W ₁	2		
ボイラー水の水位	給水停止	過熱又は空焚き	水位計	水位制御系による熱源のシャットダウン	水位低下に対する設計余裕	C _D	F _A	-	W ₁	2	水位計に最低水位を明示	水位計の日常点検

(注) 国際電気標準会議の規格61508の安全度水準

リスクグラフ法による要求安全度水準の決定方法の例

(国際電気標準会議の規格61508-5附属書D及び国際標準化機構の規格13849-1附属書Aを参考にしたもの)



a: 要求安全度水準の設定は必要ない。

b: 単一の安全関連システムでは要求安全度水準を達成することはできない。

負傷又は疾病の 重篤度(C)		危険性又は有害性への ばく露頻度(F)		危険事象の回避可能性 (P)		要求安全機能の作 動要求確率(W)	
C _A	軽傷	F _A	1日12時間以下	P _A	一定程度可能	W ₁	非常に低い
C _B	後遺障害	F _B	1日12時間超	P _B	困難	W ₂	低い
C _C	死亡					W ₃	高い
C _D	複数死亡						

9

作動要求モード別の要求安全度水準の数値

(国際電気標準会議の規格 61508-4を参考にしたもの)

低頻度の作業要求モードで作動する安全関連システムに適用される
要求安全機能に対する要求安全度水準の基準値

要求安全 度水準	低頻度の作業要求モード ^(注1) における基準値 (要求安全機能の作動が求められた時に、当該要求安全機能が作動しない確率) (PFDavg)
4	10^{-5} 以上 10^{-4} 未満
3	10^{-4} 以上 10^{-3} 未満
2	10^{-3} 以上 10^{-2} 未満
1	10^{-2} 以上 10^{-1} 未満

(注1) 要求安全機能の作動が求められる頻度が1年当たり1回以下の場合

高頻度の作業要求モード又は連続モードで作動する安全関連システムに
適用される要求安全機能に対する要求安全度水準の基準値

要求安全 度水準	高頻度の作業要求モード ^(注2) 又は連続モード ^(注3) における基準値 (要求安全機能に係る危険側故障の平均頻度)(PFH)(1/h)
4	10^{-9} 以上 10^{-8} 未満
3	10^{-8} 以上 10^{-7} 未満
2	10^{-7} 以上 10^{-6} 未満
1	10^{-6} 以上 10^{-5} 未満

(注2) 要求安全機能の作動が求められる頻度が1年当たり1回を超える場合

(注3) 通常運転の一環として要求安全機能の作動が連続的に求められる場合

低頻度の作動要求モードにおける要求安全度水準の計算例

(国際電気標準会議の規格61508-6を参考にしたもの)

$$PFD_{avg} = \lambda_{DU} \times \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) + \lambda_{DD} \times MTTR$$

PFD_{avg} : 要求安全機能の作動が求められた時に、当該要求安全機能が作動しない確率

λ_{DU} : 検知できない危険側故障に係る確率

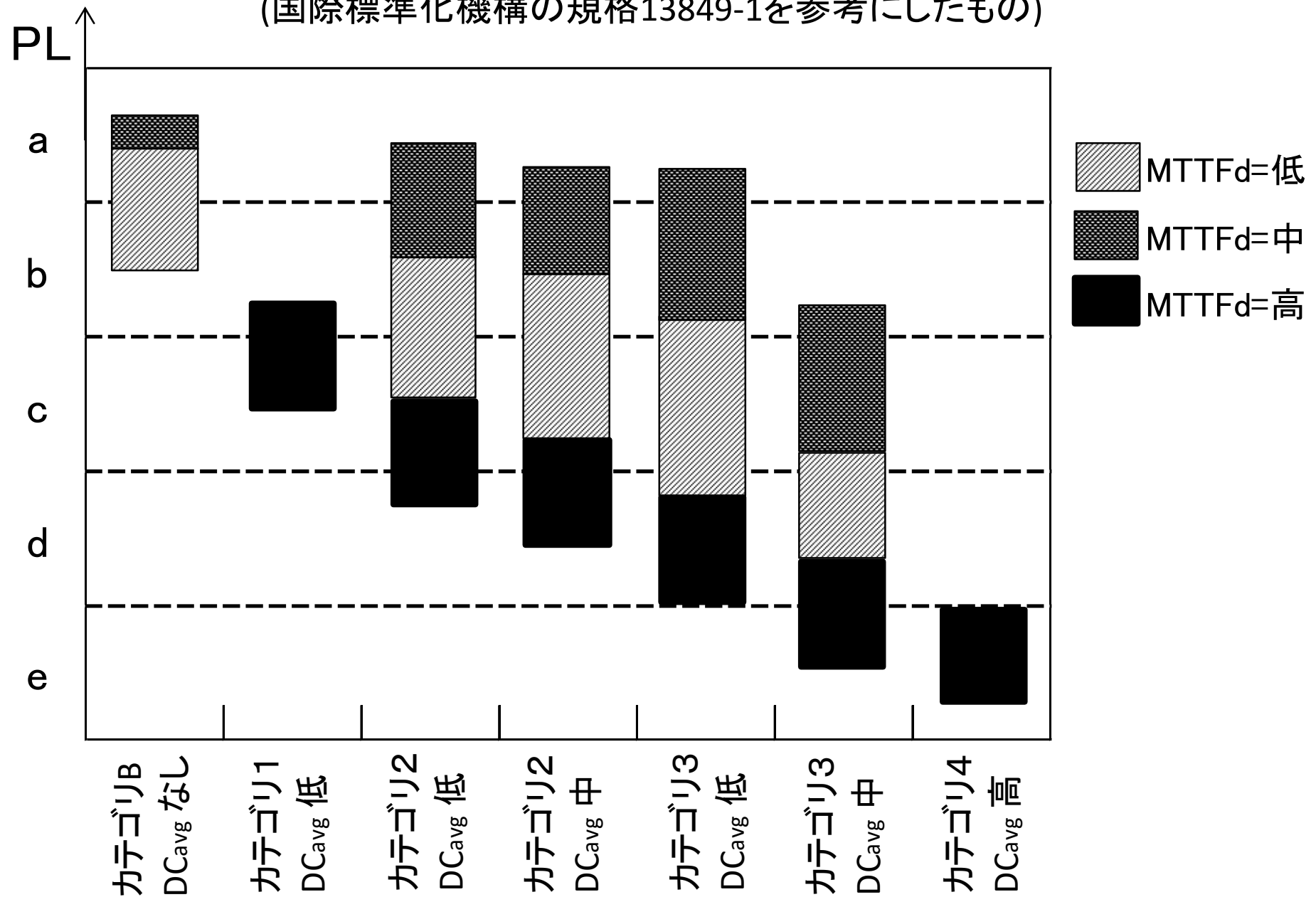
λ_{DD} : 検知できる危険側故障に係る確率

T_1 : 検査間隔 (proof test interval)

$MTTR$: 平均修理時間 (mean time to repair)

パフォーマンスレベルと各設計要素の関係

(国際標準化機構の規格13849-1を参考にしたもの)



(1) 機能安全の利点

1. 作業者と産業用ロボットが協働作業を行う場合や、介護作業用のロボットのように、リスクに対する本質安全対策が困難な場合は、電子等制御の機能によって安全を確保せざるを得ず、機能安全が最後の手段となる。
 - 複雑な電子制御システム（例：飛行機のように、制御システムに故障があったときに機械等を単純に停止させるとかえって危険になるシステム）においては、機能安全により、自動的に安全な順序で機械等を停止させることが特に必要となる。
2. どのような故障が発生しても危険側の故障とならないように制御できる方策（フェールセーフ）が採用されているときは、
 - 要求安全機能および安全関連システムの特定とそれに対する要求安全度水準の決定を省略することができる。
3. 機能安全は、通常の制御システムが故障したときに、独立した安全関連システムが介入して機械等を安全に停止させるという考え方を取る。
 - このため、個別の規格により、安全関連システムが制御システムから独立していることを要求されることが通常である。
 - この考え方は、通常の制御の方法が、プログラム制御、人間による操作、あるいは人工知能（AI）による制御のいずれであっても有効である。

(2) 機能安全の適用限界

1. 機能安全は、挟まれ・巻き込まれや爆発火災等の機械等に起因する災害の防止のための手法であることに留意する必要がある。
 - 不安全行動による災害など、機械等の制御の機能によって防止できない危険事象には効果を期待できない。
 - 機能安全は、危険側故障確率を減少させることで、危険事象の発生確率を下げることができるが、危険事象による災害の重篤度を減少させることは困難である。
2. 機能安全によるリスクの低減を図る場合、本質安全対策など、機械等の構造要件等を優先して検討することが望ましい。
 - 例えば、設備全体のリスクを低減するための対策を検討する場合、運転用の制御システムの信頼性の向上、機械等の誤使用（ヒューマンエラー）を防止するための対策、避難待避方法の検討等、多重的な防護による設備の設計方針に従い安全方策を検討
 - なお残るリスクについて、機能安全によるリスクの低減を図ることが望ましい。
3. 特定の要求安全機能について要求安全度水準を実現できたことにより、他の要求安全機能の要求安全度水準を低下させることは認められない。

(3) 機能安全の認証と法令規制の関係

1. 機能安全の基準を満たす適合性証明を受けた電子制御等によって制御される機械等の取り扱いについては、特定の機械等ごとに検討の上、一定の法令上の特例を規定することになる。
 - ただし、国際規格においては、危険事象により複数の死亡をもたらすおそれのある機械等（ボイラー、クレーン等）については、電子等制御の安全機能に要求安全度水準を満たす場合であっても、安全弁等の機械式の安全装置等を省略することは認められていない。
 - その理由としては、多重防護の観点から、異種の方式の安全装置の設置が求められていること、想定外の事象が発生した場合には、物理的な構造や機械式の安全装置で安全を担保する必要があることがあげられる。
2. 事故の結果の重篤度が相対的に低い機械等（産業用ロボットなど）については、機械式の安全措置（ストッパー、柵等）を要求安全度水準の高い電子等制御の安全関連システム（監視・保護停止）により代替することが国際規格で認められつつある。
 - 安衛法令においても、このような機械等について、一定の程度、機械式の安全機能の代替を認める余地がある。

(4) 適合性証明の対象となる範囲と審査内容

1. 適合性証明は、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する必要がある。
 - コントローラ等の機器（デバイス）単位で要求安全水準の適合証明を受けている場合であっても、システムとして組み込んだ機械等の制限によってその安全度水準が達成できない場合があるため。
 - 認定の対象となる適合自動制御装置には、新たに設置される機械等に備え付けられるもののみならず、すでに設置されている機械等を改修して新たに備え付けられるものも含まれる。
2. 法令上の特例措置を受ける必要がない機械等については、製造者自らが機能安全指針に適合することを宣言することも認められる。
3. 適合性証明にあたっては、RAにより、要求安全機能が適切に特定され、要求安全度水準が適切に設定されているかどうかが審査対象。
 - 同一型式による量産品に適合証明を行う場合、定期的に製造者に対するマネジメント監査も含まれる。
4. 登録適合性証明機関は、ボイラー以外の電子等制御の機能安全の適合証明を行うことも可能。

(5) 要求安全度水準の決定のための使用条件の把握

1. 要求安全度水準の決定には、機械等の設置場所等の機械等の使用条件に関する情報が必要であるため、機械等の使用者と製造者が連携し、使用条件を決定する必要がある。
2. ただし、大量に生産される同一型式の機械等については、あらかじめ機械等の使用条件を決定することは困難であるため、一定の使用条件を仮定してリスクを解析し、機械等の取扱説明書等により使用条件の制限やメンテナンス頻度の指定等を行う必要がある。

(6) 電子等制御の使用条件等と被制御機器の整合

1. 所轄労働基準監督署長は、認定を受けようとする適合自動制御装置に係る「用途及び仕様」および「使用条件」が、それによって制御されるボイラーの「種類」等に合致していることを審査する必要がある。
 - 合致していなければ、自動制御装置が要求される機能を発揮できないためである。
2. 適合証明申請書や適合証明書において、ボイラーの種類、自動制御装置の使用条件、用途・仕様が特定されている必要がある。
 - 具体的には、適合証明申請書および適合証明書の「使用条件」の欄には、当該自動制御装置の要求安全機能の特定および要求安全度水準の決定の前提となっている、ボイラーの種類、燃料・熱源の種類、設置場所・条件、自動制御装置の点検方法・頻度等を記載する必要がある。
 - 「用途及び型式」の欄には、証明対象機器の用途に加え、当該機器が適合する安全度水準又はパフォーマンスレベルを記載する必要がある。
 - 適合自動制御ボイラー認定書申請書のボイラーの「種類」の欄には、ボイラーの種類および燃料・熱源の種類を記載する必要がある。

機能安全による機械等の安全確保について

- 厚労省HP内の機能安全ポータルサイト（以下の文献は全て掲載）
- <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000140176.html>

機能安全指針

- 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）

関係法令

- 機能安全に係るボイラー則及び登録省令の改正の概要
- ボイラー及び圧力容器安全規則及び労働安全衛生法及びこれに基づく命令に係る登録及び指定に関する省令の一部を改正する省令（新旧対照表）抜粋（平成28年厚生労働省令第149号）
- ボイラー及び圧力容器安全規則第24条第2項第4号の規定に基づき厚生労働大臣が定める自動制御装置（平成16年厚生労働省告示第131号。平成28年厚生労働省告示第354号により一部改正。）

関係通達

- ボイラー及び圧力容器安全規則及び労働安全衛生法及びこれに基づく命令に係る登録及び指定に関する省令の一部改正（指定外国検査機関関係を除く。）等について（平成28年9月30日付け基発0930第32号）
- ボイラーの遠隔制御基準等について（平成15年3月31日付け基発0331001号。平成28年9月30日付け基発0930第35号により一部改正。）