



プロセス安全評価による防災活動

花王株式会社

SCM部門 技術開発センター

基幹技術G プロセス技術

濱村 隼矢



目次

1. 会社概要/花王Gr生産拠点
2. 防災基盤 強化活動 実績
 - ① 活動概要
 - ② 自然発火事故 撲滅活動
 - ③ 暴走反応事故 未然防止活動
3. 推進体制と教育活動



花王株式会社概要



商号 花王株式会社 (Kao Corporation)
 本店所在地 東京都中央区日本橋茅場町一丁目14番10号
 創業 1887年6月 (明治20年)
 設立 1940年5月 (昭和15年)
 売上高 1兆4,718億円 (連結)
 資本金 854億円
 従業員数 6,970名 (連結対象会社合計 33,026名)

2016年12月31日現在



本社



花王グループの生産拠点 (国内10拠点)



和歌山
 ・家庭品 西日本供給拠点
 ・ケミカル 供給拠点

川崎
 ・家庭品 東日本供給拠点



愛媛
 ・サニタリ製品 西日本供給拠点

富士
 ・紙製品

栃木
 ・サニタリ製品 東日本供給拠点



酒田
 ・紙加工製品 グローバル供給拠点

小田原
 ・化粧品 グローバル供給拠点

鹿島
 ・ケミカル 供給拠点



豊橋
 ・BC新製品 供給拠点



東京
 ・新規開発型拠点





1. 会社概要/花王Gr生産拠点

2. 防災基盤 強化活動 実績

① 活動概要

② 自然発火事故 撲滅活動

③ 暴走反応事故 未然防止活動

3. 推進体制と教育活動

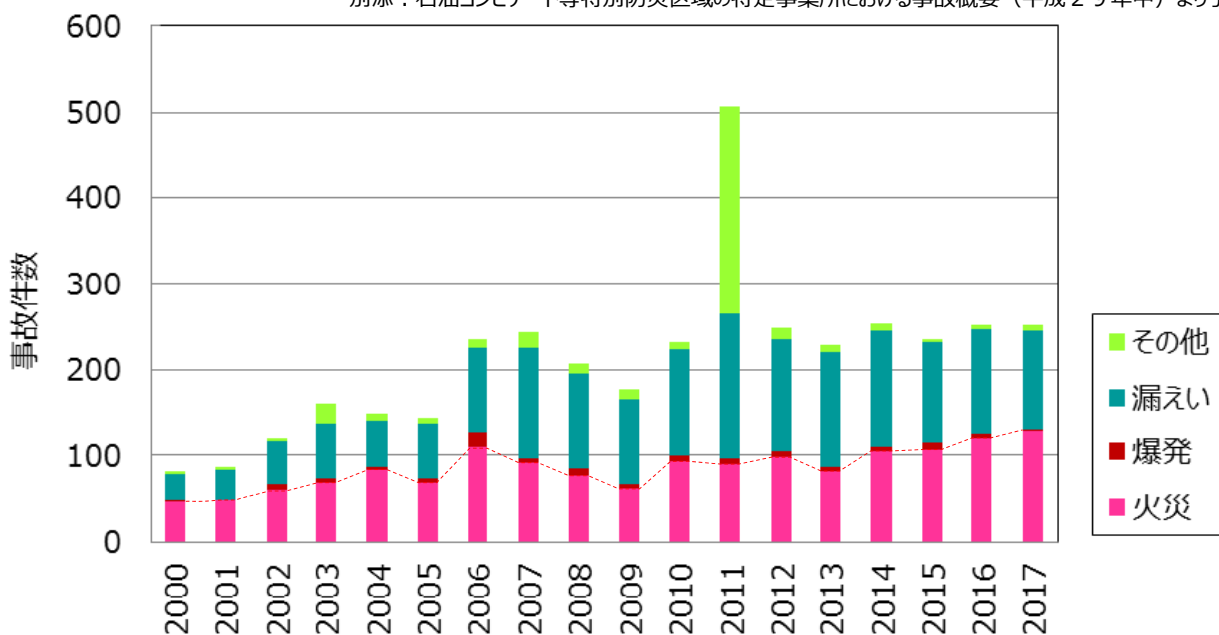


石油化学コンビナートにおける事故推移



○ 石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所 事故件数

別添：石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要（平成29年中）より引用



ここ数年火災事故件数は微増傾向、大規模事故も発生
⇒ 産業界にとって、さらなる安全対策の強化が必要



防災活動 項目	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
自然発火事故防止対策	← 自社トラブル発生期 →		自然発火リスク評価 技術開発		自然発火事故 防止対策推進		対策強化期間									
暴走反応事故 防止対策					← 他社重大事故発生期 →		マニュアル強化		暴走反応リスク評価技術開発	暴走反応リスク総点検・対策推進						
粉じん爆発事故 防止対策									537品種	粉体データベース化・評価対策						
低引火点物質 安全対策									貯槽175基、製品141品種	安全対策						
地震連動停止対策					実績：東日本大震災（鹿工）爆発・漏洩被害無し											
変更管理					変更管理の強化・仕組み構築											
設備のSA推進					SA仕組み構築・全高圧ガス設備完了											
定常HAZOPの推進					----->											
非定常HAZOPの推進	高圧ガス設備 各種HAZOPによる危険源抽出（17設備）										----->					

自然発火事故と暴走反応事故防止対策について活動を紹介



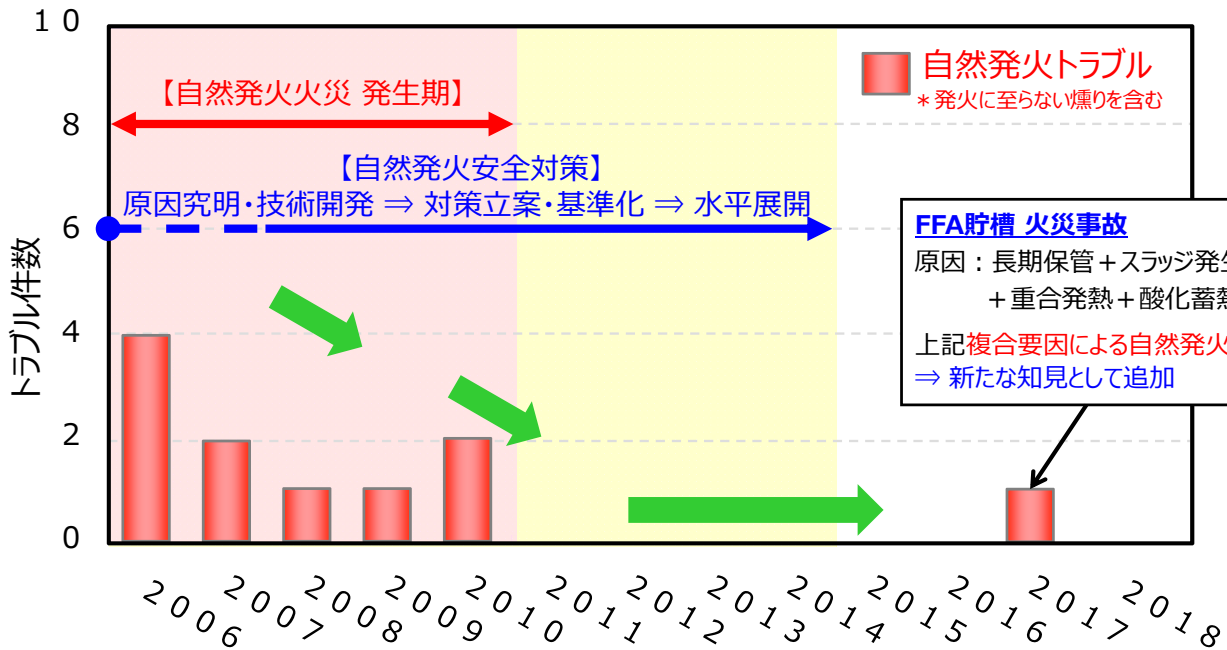
目次



1. 会社概要/花王Gr生産拠点
2. 防災基盤 強化活動 実績
 - ① 活動概要
 - ② 自然発火事故 撲滅活動
 - ③ 暴走反応事故 未然防止活動
3. 推進体制と教育活動



○ 国内事業場（2006～2019. 2）約13年間活動継続中



対策後 直近5年 **自然発火件数90%減**（1件）

* 2006年～2010年 合計比



自然発火現象とトラブル事例



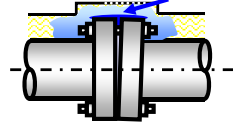
自然発火現象

物質の発火点、引火点以下の温度において酸化・蓄熱することで発火に至る現象

○ 自然発火トラブル事例

・ フランジ部漏洩による自然発火

1. 漏洩 保温材 内容物



2. 酸化・蓄熱・高温化

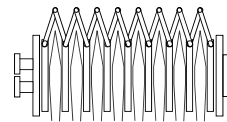


3. 発火

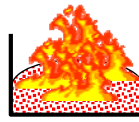


・ 廃ケーキによる自然発火

1. 廃ケーキ 排出



2. 酸化・蓄熱・発火



様々なプロセス条件下で自然発火トラブル発生



課題

物質種、スケール、周辺環境等 影響因子多い ⇒ **リスクの把握困難**

例) フランジ部からの漏洩による自然発火防止対策 (従来)

締結部緩み、ガスケット劣化等の**早期発見のため保温材施工フランジの定期点検実施**

実施方法 : 保温材施工フランジ数が多いため (約 8000 箇所 / 工場)

無作為に抜取り点検 約 100 箇所 / 年程度実施

効果があまり出なかった (無作為のため効率低い)



自然発火リスク評価技術開発、効果的な対応で事故ゼロへ

- ① リスクの高い化学物質を見える化
- ② リスクの高い箇所の見える化
- ③ リスクレベルを判定し、管理表に基づいて適切な対策実施



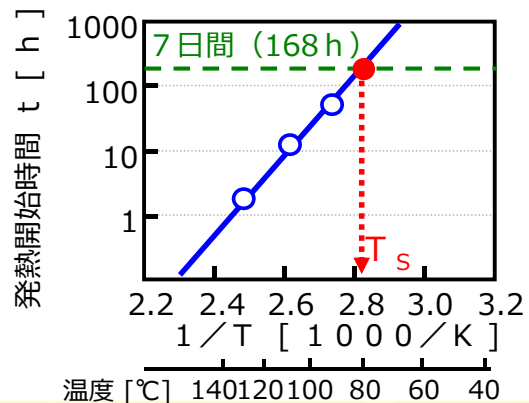
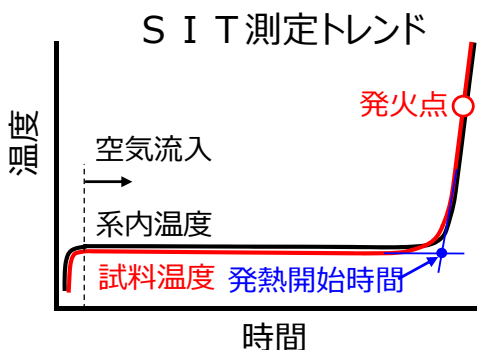
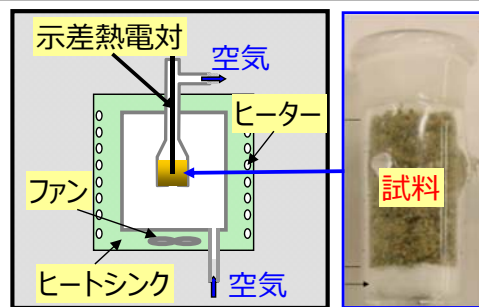
① 物質の自然発火性評価方法の開発

自然発火性試験

SIT : Spontaneous Ignition Tester

一定温度、空気流通下、擬似断熱状態

発熱開始時間を測定



自然発火性指標 : 自然発火開始温度 T_s (社内定義)

擬似断熱、空気雰囲気条件下で7日間 (168h) で発火に至る雰囲気温度



①フランジ部からの漏洩で自然発火に至る条件



○ 過去事事故事例 検証

※ 熱源温度 : 配管トレース温度もしくは内容液温度

	漏洩流体	自然発火開始温度 T_s	熱源温度 T_h	$T_h - T_s$
事例 ①	化学物質 A	60℃	170℃	110℃
事例 ②	化学物質 B	90℃	190℃	100℃
事例 ③	化学物質 C	70℃	150℃	80℃
事例 ④	化学物質 D	70℃	130℃	60℃

○ シミュレーションによる検証

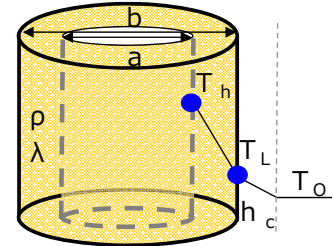
Vytenis Babrauskas, Ph. D. Ignition Handbook. Fire Science Publishers, 2003

・ 無次元発熱速度 : $\delta = \frac{\rho Q A}{\lambda} \frac{b}{2} \frac{a^2}{R T_h^2} \exp \frac{E}{R T_h}$

・ 臨界定数 : $\delta_c = 0.39 |\theta_s|^{1.62} z_s^{0.27 + 0.49 |\theta_s|}$
 ※ B o w e s の経験式

・ 自然発火条件

無次元発熱速度 $\delta >$ 臨界定数 δ_c



ρ : 密度 R : 気体定数 T_o : 外気温度
 λ : 熱伝導率 a : 配管外径 h_c : 熱伝達率
 Q : 反応熱 b : 保温材外径 θ_s : 無次元温度
 A : 頻度因子 T_h : 配管表面温度 z_s : 無次元長さ
 E : 活性化エネルギー T_L : 保温材外面温度

$T_h - T_s > 60℃$ で自然発火リスク有

放熱考慮すると $T_h - T_s \geq 60℃$ 条件下で自然発火可能性が高いことがわかった

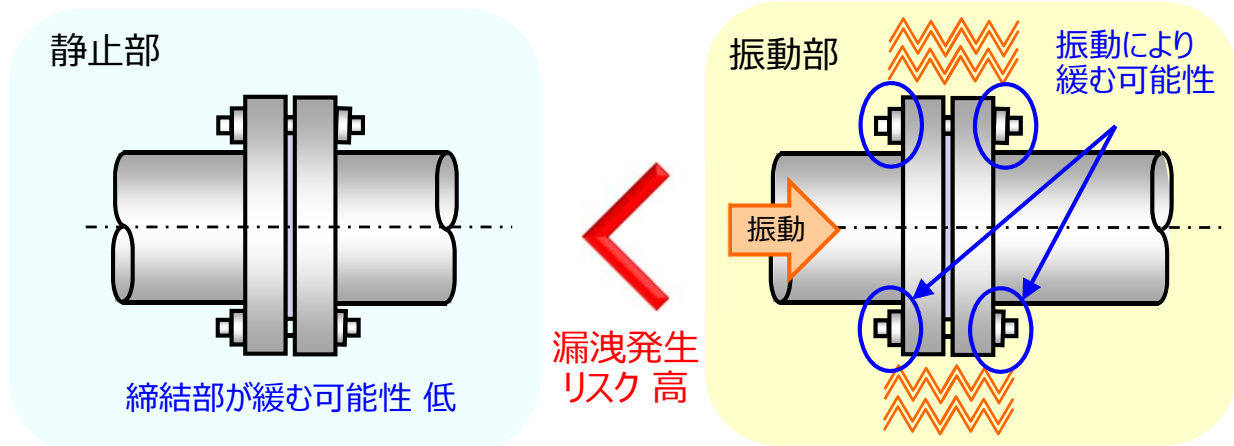


②フランジ部から漏洩に至る可能性について



○ 過去の実績からリスクの高い箇所を特定

外部影響が無ければ漏洩に至る可能性低い



振動部を漏洩の可能性“高”と判断 ⇒ 優先的に定期点検実施



②フランジ部の漏洩時の自然発火防止対策



○ 対策手法

配管フランジ締結部にアルミ箔を下巻（保温材への浸透防止）
⇒ 漏洩時に自然発火に至る可能性低減

1. アルミ箔施工前



2. アルミ箔下巻



3. 保温材 アルミ箔包装 - 1



4. 保温材 アルミ箔包装 - 2



5. 保温材施工



6. 完成



アルミ箔施工部 危険度 "低" と判断

⇒ アルミ箔施工 未実施部を重点的に定期点検 + 追加施工実施

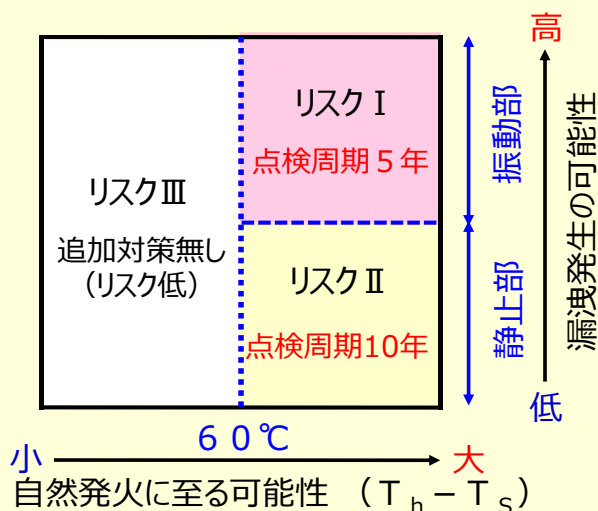


③配管フランジ締結部のリスク判定と定期点検基準

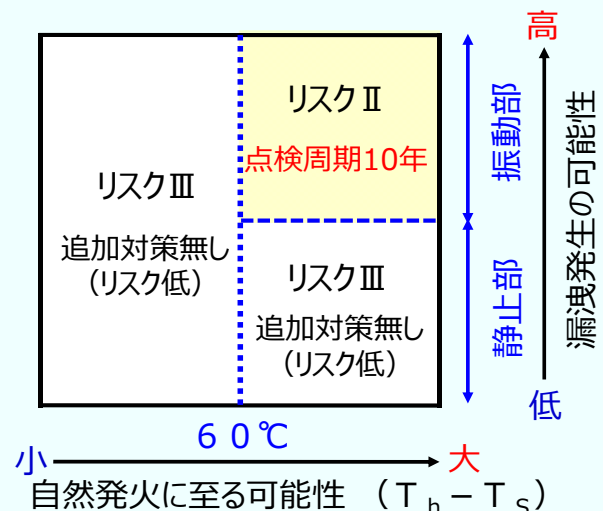


○ 自然発火リスクランク別 定期点検

アルミ箔の下巻き対応無



アルミ箔の下巻き対応有



※ 工場 対象配管フランジ数約 8000箇所（2011年 初年度実施時）

⇒ リスクⅠ：約100箇所 リスクⅡ：約900箇所 リスクⅢ：約7000箇所

リスクの高い箇所を重点的に点検 + アルミ箔下巻対応 ⇒ リスク低減



○ 配管フランジ締結部 管理表

ラインNo	From	To	振動部	品名 (代表品種)	Ts [°C]	融点 [°C]	熱源種類	熱源温度	熱源-Ts 温度差 (≧60°C)	熱源変更可否	アルミ箱の有無	サイズ (標準入力)	材質 (標準入力)	配管長さ (標準入力) [m]	フランジ部 (標準入力) [箇所]	危険度ランク	点検周期
P-****	T-001(L-50貯槽)	G-901サクシオン	○	エマルゲン118B	60	100	SM	150	90	SL	○	50A	SUS304	20	5	危険度Ⅱ	10年
P-001	ローリー	T-138貯槽	○	エマルゲン118B	70	38.2	SL	130	60	SL	○	50A	SUS304	20	7	危険度Ⅲ	-
P-002	T-138貯槽	G-138サクシオン	○	エマルゲン118B	70	38.2	SL	120	50	否	○	50A	SUS304	2	7	危険度Ⅲ	-
P-003	G-138サクシオン	G-138ヘッダー	○	エマルゲン118B	70	38.2	SL	120	50	否	○	40A/25A	SUS304	1	7	危険度Ⅲ	-
フランジ場所 (漏洩に至る可能性) 物質とプロセス条件 (自然発火に至る可能性) アルミ箱の有無 自然発火リスク																	
P-008	G-138ヘッダー	原料共通ヘッダー HOV3264迄	○	エマルゲン118B	70	38.2	SL	130	60	否	○	25A	SUS304	170	21	危険度Ⅲ	-
P-009	ローリー → G-123	T-122貯槽	○	エマルゲン1823	70	34	SL	130	60	否	○	50A	SUS304	10	13	危険度Ⅲ	-
P-010	T-122貯槽	G-122サクシオン	○	エマルゲン1823	70	34	SL	130	60	否	○	50A	SUS304	2	8	危険度Ⅲ	-
P-011	G-122サクシオン	G-122ヘッダー	○	エマルゲン1823	70	34	SL	130	60	否	○	40A/25A	SUS304	1	6	危険度Ⅱ	10年
P-012	G-122ヘッダー	原料共通ヘッダー HOV3264迄	○	エマルゲン1823	70	34	SL	130	60	否	○	25A	SUS304	170	21	危険度Ⅲ	-
P-013	S-2B系原料共通ヘッダー	CV371リアクター	○	エマルゲン118B エマルゲン1823	70	38.2 34	SL	130	60	否	○	20A 40A 80A	SUS304	15 5 14	50 14 2	危険度Ⅲ	-

振動部 区分例

CASE1: アルミ箱の下巻き対応無

危険度Ⅲ 追加対策無し (リスク低)	危険度Ⅰ 点検周期5年
	危険度Ⅱ 点検周期10年

CASE2: アルミ箱の下巻き対応有

危険度Ⅲ 追加対策無し (リスク低)	危険度Ⅱ 点検周期10年
	危険度Ⅲ 定期点検無

2012年より全社水平展開
評価技術検討4年
データベース構築・体系化4年



1. 会社概要/花王Gr生産拠点
2. 防災基盤 強化活動 実績
 - ① 活動概要
 - ② 自然発火事故 撲滅活動
 - ③ 暴走反応事故 未然防止活動
3. 推進体制と教育活動



○ 他社 暴走反応 事故事例

- 1976年 I社 TCP製造工場 : 健康被害 (22万人)
- 1982年 D社 AS樹脂工場 : 死者6名、負傷者198名
- 2012年 M社 ivalon製造施設 : 死者1名、負傷者25名
- 2012年 N社 AA製造施設 : 死者1名、負傷者36名

異常反応による事故 被害規模大きい

○ 花王G 暴走反応 トラブル事例

1. 樹脂製造設備 (2008年)

停電発生
冷却機能喪失



異常反応
蒸気噴出

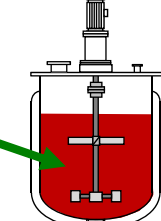


2. 樹脂製造設備 (2017年)

停電発生
冷却機能喪失



異常反応
内容物固化



原因：暴走反応リスク過小評価／課題：暴走反応リスク評価手法の確立



○ 暴走反応リスク評価フロー

* ARC: 断熱型反応熱量計
* DSC: 示差操作熱量計

STEP 1 シナリオ想定

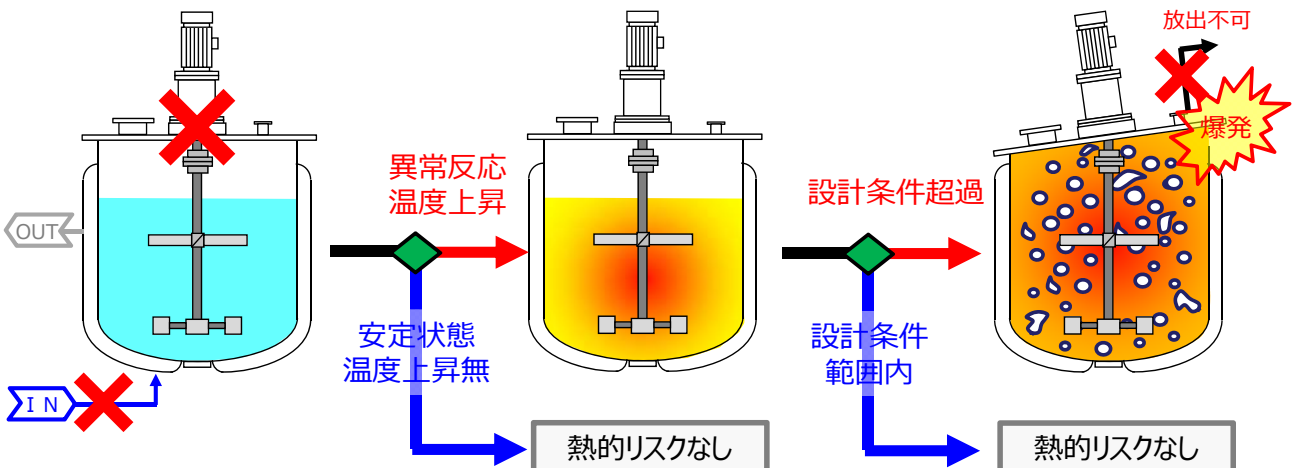
冷却機能喪失/断熱条件下
ポイント① シナリオの決定

STEP 2 暴走反応 発生確率

物質・反応 潜在リスク-評価
ポイント② ARC・DSC測定の適用
ポイント③ 安全安定性評価基準

STEP 3 影響度 判断

潜在リスク- / 実機 総合判断
ポイント④ ARCデータ活用
(温度、圧力上昇速度等)



熱分析を用いて得られる発生確率・影響度に基づいた暴走反応リスク評価



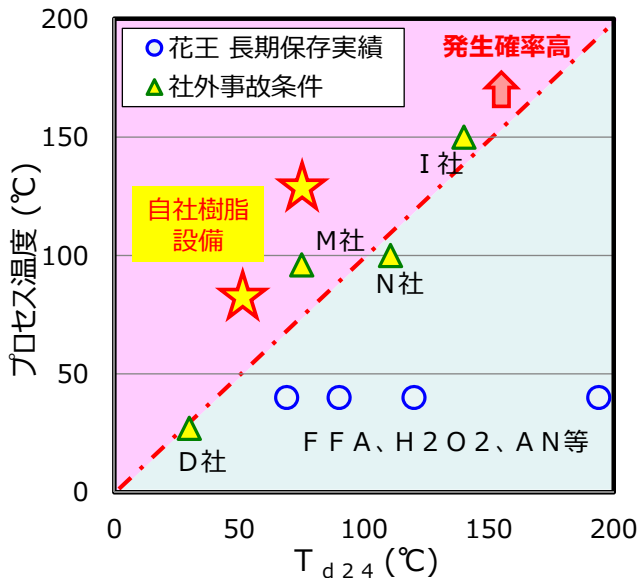
発生確率と影響度によるリスク判断



○ 発生確率 (新しい知見、リスク予知)

T_{d24} : 24時間後に暴走反応に至る温度

ARC測定結果より得られるデータ



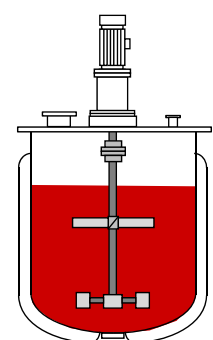
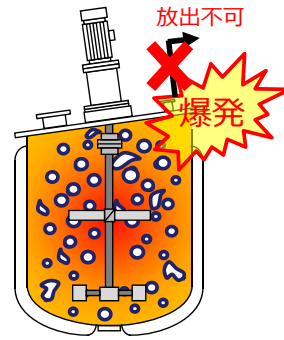
プロセス温度 > T_{d24} の場合発生確率“高”

○ 影響度

ARC測定 (温度・圧力)

Case 1
温度・圧力が
設計条件を超える

Case 2
温度・圧力が
設計条件範囲内



爆発の可能性

安全性影響無し

⇒ リスク“高”

⇒ リスク“中～低”

上記 2 項目の評価結果から総合的に暴走反応リスクが判断可能



暴走反応リスク評価 ガイドライン 概要



○ 暴走反応リスク評価基準

・ 影響度 : ARC測定結果より検討

* ARC : 断熱型反応熱量計

		到達圧力	
		設計圧力 < 最大到達圧力	設計圧力 > 最大到達圧力
到達温度	設計温度 < 最大到達温度	“高”	“高”
	設計温度 > 最大到達温度	“高”	“低”～“中”

・ 暴走反応発生確率 : “ T_{D24} ” (断熱条件下 24 h で暴走反応に至る温) で判断 * +10°C は測定誤差考慮

$T_{D24} < \text{プロセス温度} (T_p) + 10^\circ\text{C}$: 暴走反応発生確率“高” (目安 : 断熱条件 24 h 以内に暴走反応)

$T_p + 10^\circ\text{C} < T_{D24} < T_p + 30^\circ\text{C}$: 暴走反応発生確率“中” (目安 : 長期滞留時 暴走反応 可能性)

$T_p + 30^\circ\text{C} < T_{D24}$: 暴走反応発生確率“低” (目安 : 長期滞留時でも暴走反応リスク低)

★ 暴走反応リスク

		影響度		
		“高”	“中”	“低”
暴走反応 発生確率	“高”	I	II	III
	“中”	II	II	III
	“低”	II	III	III

リスク I : 暴走反応に至る可能性が高く、甚大な被害が想定 / 安全対策を必ず計画

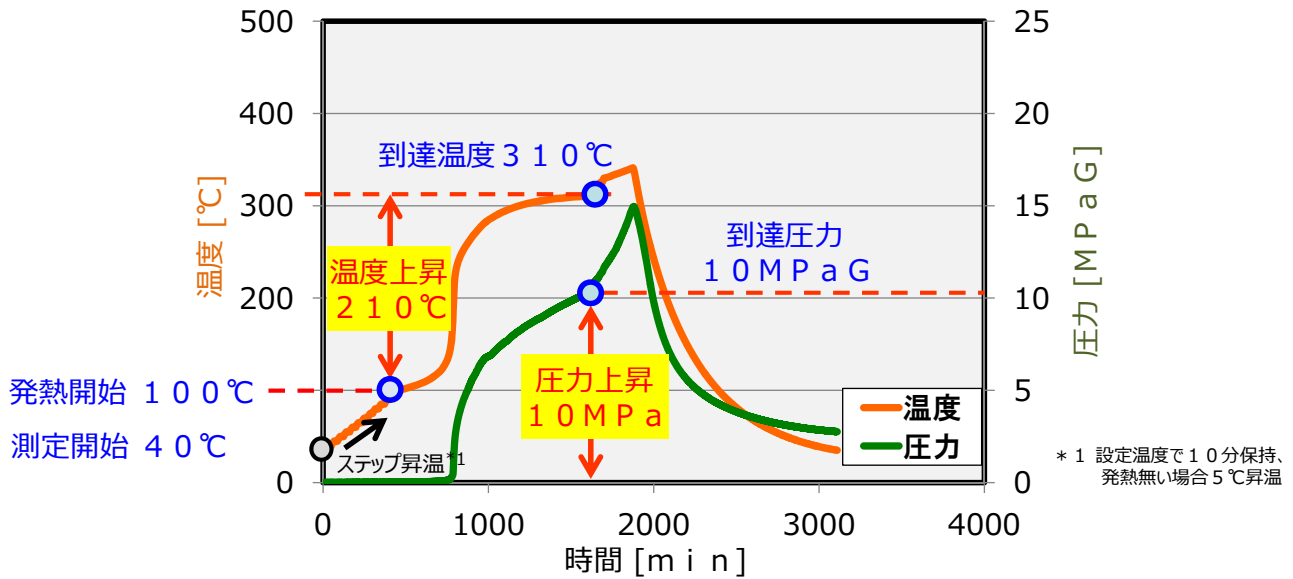
リスク II : 影響度、発生確率から、対応を関係者で議論・検討して総合的に判断

リスク III : 受け入れ可能なリスク。

新規ガイドラインを作成・発行 ⇒ 新設・既設へ水平展開



○ 樹脂化反応 A R C 測定結果 * A R C : 断熱型反応熱量計

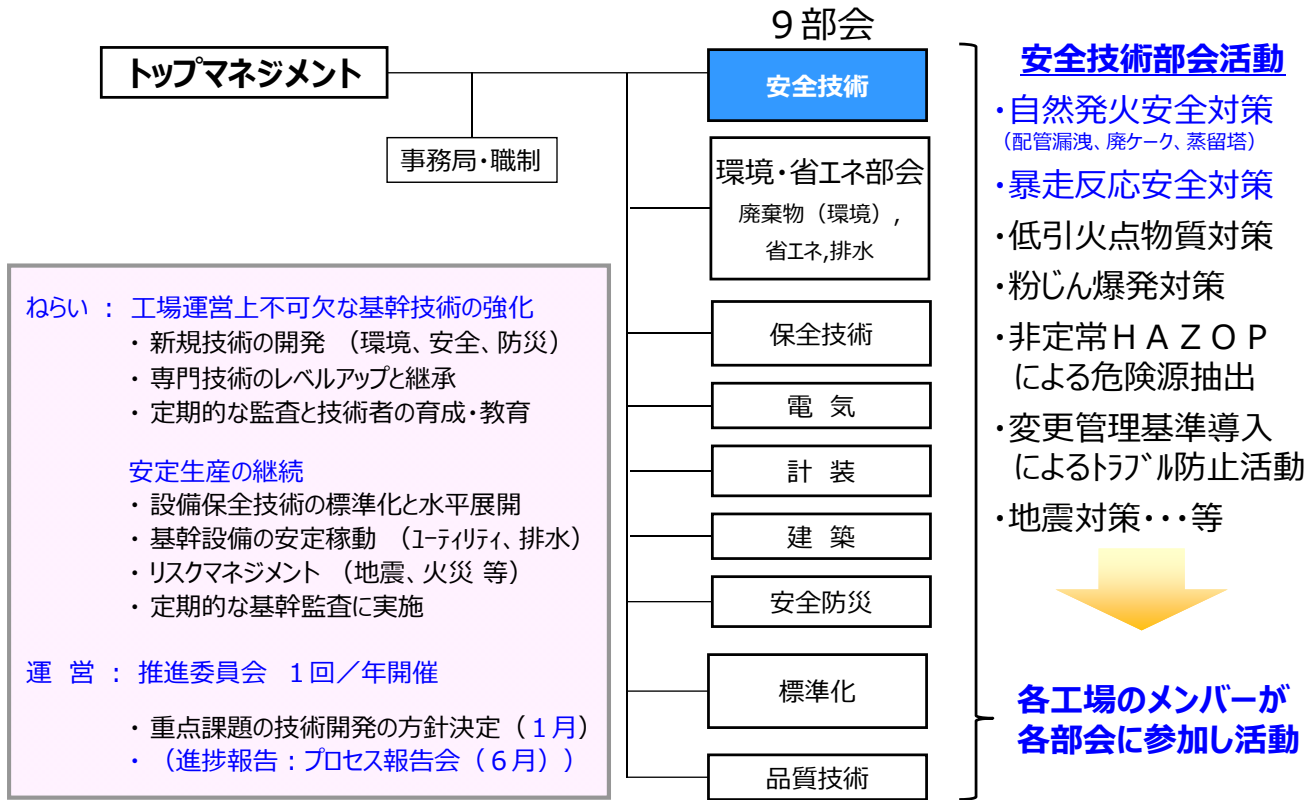


到達温度・圧力 > 設計温度・圧力 $T_{D24} = 75^{\circ}\text{C} < \text{プロセス温度} 125^{\circ}\text{C}$
影響度“高” **発生確率“高”**
* 冷却機能喪失時 1h以内に暴走反応

“暴走反応リスクI” ⇒ 対策：非常用発電を設置／常時冷却機能維持



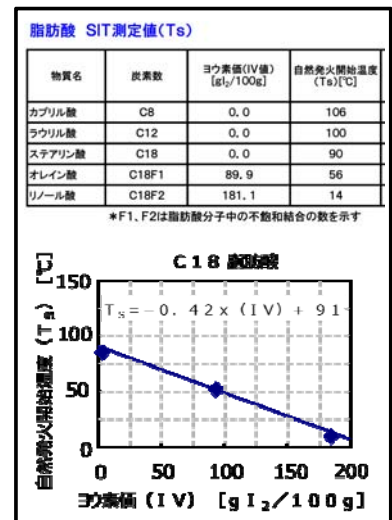
1. 会社概要/花王Gr生産拠点
2. 防災基盤 強化活動 実績
 - ① 活動概要
 - ② 自然発火事故 撲滅活動
 - ③ 暴走反応事故 未然防止活動
3. 推進体制と教育活動



○ イン트라ネットでの公開（花王グループ共有化）* 自然発火データベース 脂肪酸類

技術ライブラリ

- 共通技術
- 規程・基準
 - 規程基準
 - 自然発火性物質 配管フレンジ漏洩対策ガイドライン
 - 配管フレンジ締結作業手順書（漏洩防止対策）
 - 熱的リスク評価ガイドライン
 - 自然発火事故防止対策（対策の考え方を資料化）
 - 自然発火データベース（100種以上データ + 類似物質 推算式）
- 専門技術
- 教育
 - テクノスクール
 - エンジニアスクール
 - 高研塾
- 報告書類



*技術ライブラリ 年間延べ人数 1 万人以上の利用者 ⇒ 社内で技術情報共有できる体制構築

○ 教育・運用体制

- 社内技術講習会での教育 * 関連業者含む
- 国内外エンジニアへの教育：毎年実施、述べ100人以上受講
- 国内外オペレータへの教育：毎年実施、述べ100人以上受講
- 設備のセーフティアセスメント/変更管理時は必ず自然発火性・熱的リスクを確認





1. リスクの把握

S I Tを用いた物質の自然発火性の定量化、自然発火リスクの見える化
A R Cを用いた物質・反応のポテンシャル評価、暴走反応リスクの見える化

2. リスクの周知

自然発火性情報データベース化、イントラネット公開、定期的な教育
暴走反応評価手法のマニュアル公開、新技術の説明

3. リスクの低減

効果的な定期点検による管理強化 / アルミ箔下巻施工促進による設備強化
新設・既設プロセスの暴走反応リスク評価、追加安全対策 ⇒ 継続的に実施



自然発火：直近5年間 自然発火件数90%減 2006年~2010年比

**暴走反応リスク：災害の未然防止 国内発熱反応設備 全77設備
再評価不要・完了31設備、10設備 追加対策
今後3年で全設備完了目標、評価技術の定着へ**

今後の展望：安全技術情報の公開、産官学連携 更なる技術開発