

2025年9月16日（火）

第10回 OmegaLand ユーザー会

～スマートオペレーション実現に向けた現場活用と継続的な価値創出～

プロセス安全の高度化に向けて

安全・安心科学研究所

鈴木 和彦

 Omega Simulation Co., Ltd.
Copyright © Omega Simulation Co., Ltd.

第10回 OmegaLand ユーザー会 講演

- 鈴木(すずき) 和彦(かずひこ) SUZUKI, Kazuhiko
 - － 国立大学法人岡山大学 名誉教授
 - － 専門: システム安全工学, 信頼性工学
 - － 研究: 大規模系(原子力プラント, 石油・化学プラント)のリスク評価, 安全管理, 安全設計

■ 略歴:

- 1987年1月 岡山大学工学部助手(生産機械工学科)
- 1991年3月 工学博士(Dr. Eng.) (九州大学)
- 1993年4月 岡山大学工学部助教授(機械工学科)
- 1996年4月 岡山大学工学部助教授(システム工学科)
- 1998年3月 同教授
- 2005年4月 国立大学法人岡山大学自然科学研究科教授(産業創成工学専攻)
- 2018年3月31日 岡山大学を定年退職
- 2018年4月1日 岡山大学名誉教授
- 2018年4月1日 安全・安心科学研究所設立
- 現在に至る

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



事故の悲惨さ

現場での事故

“アッ”と気が付いたときは
すでに手遅れ！！

“アッ”と思ったときは、
すでに“負傷”してる！
“死亡”している！

3

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



■犠牲者；

企業にとって、多数従業員の内の一人だが、
家族にとっては、唯一の父・母、息子・娘、兄弟・・・



pixta.jp - 73542793

4

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science





事故が起こってからでは遅い！！
『再発防止』
よりは、
『未然防止』です。
起こる前に対応して
ください。

5

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



事故防止のためには
『リスクを徹底的に減らす！』

6

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



安全化のために強調したいこと

『重大事故の撲滅』

- リスクアセスメントは妥協無く徹底的に実施する。
 - リスク分析とリスク低減の重要性
 - リスク低減の反復プロセス
- 常に安全の脆弱性認識して可能な限り(最大限に)安全化を図る。

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

7

リスクを徹底的に減らす。



どの様にしてリスクを
減らす？
どの程度まで減らせ
ばいい？

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

8

技術で解決できることは 技術に任せる.

強い現場にたよる時代から
高度な技術力への脱皮

- ◆リスクアセスメント・リスク低減の高度化
- ◆DX導入による安全の高度化

9

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



第10回 OmegaLand ユーザー会 講演

リスク目標の設定

- 安全目標としてリスクレベルを設定する。
 - 安全目標を設定するためには、最も重要且つ根源的な問いである「**どれくらい安全なら十分安全といえるのか？**」「**How safe is safe enough?**」という問いかけに対して、技術と社会の両面から答えるための議論・考察が必要。
 - 製造設備、プロセスプラントの運用において、リスクをゼロにすることは不可能であり、「十分安全」の程度は、設備の運用の便益に照らしてどの程度のリスクなら受容してもよいのかで決まるものと考えざるを得ない。



重大事故への対応のみでなく、通常運転時も含めたあらゆる状況を
念頭に、ALARP の思想に基づいた合理的な安全目標を設定する。

10

Kazuhiko Suzuki

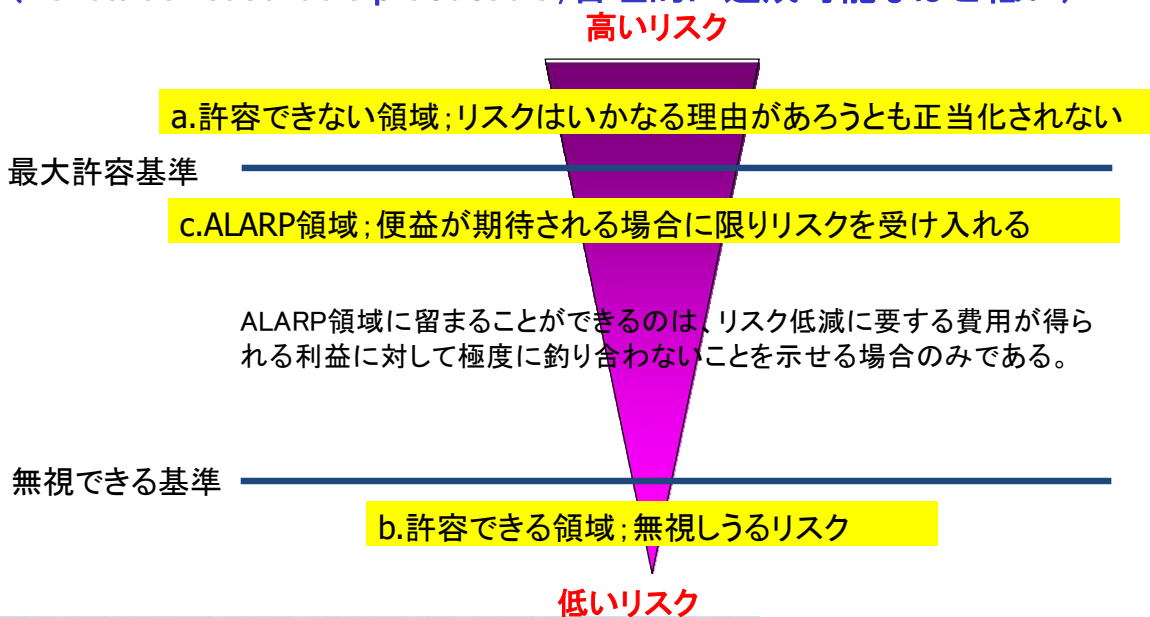


安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



ALARPの概念図

(As low as reasonable practicable; 合理的に達成可能なほど低い)



11

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



ALARP

- イギリスの衛生安全庁(HSE)により提唱され考え方であり、産業活動によるリスクを抑制する際に以下のALARPの考え方を基に判断される。
 - a. リスクが許容できない領域; リスクが非常に大きい場合、いかなる理由であれ正当化されず許可がされない。
 - b. リスクが許容できる領域; リスクが非常に小さい場合であり、リスクレベルは無視できるものであり更なるリスク低減は必要とされない。
 - c. 中間のALARP領域 (“as low as reasonably practicable”; リスクは合理的に実行可能な限り出来るだけ低くしなければならない領域); リスクは合理的に実行可能な限り、できるだけ低くしなければならない”という原則がある。多くの化学産業における危険施設はこのALARP領域にあり、可能な限り許容領域にまでリスクを下げるよう努力することが要求されるが、これ以上のリスク低減を技術的に行うことができない、またはリスク低減にかかるコストが、得られる社会的便益に比べて不相应に係る場合には許容される。また、リスク低減のために現段階での最高の技術を導入することと、それに必要な費用とのバランスを考慮する必要もあり、費用—便益分析が必要な領域ともなる。

12

Kazuhiko Suzuki

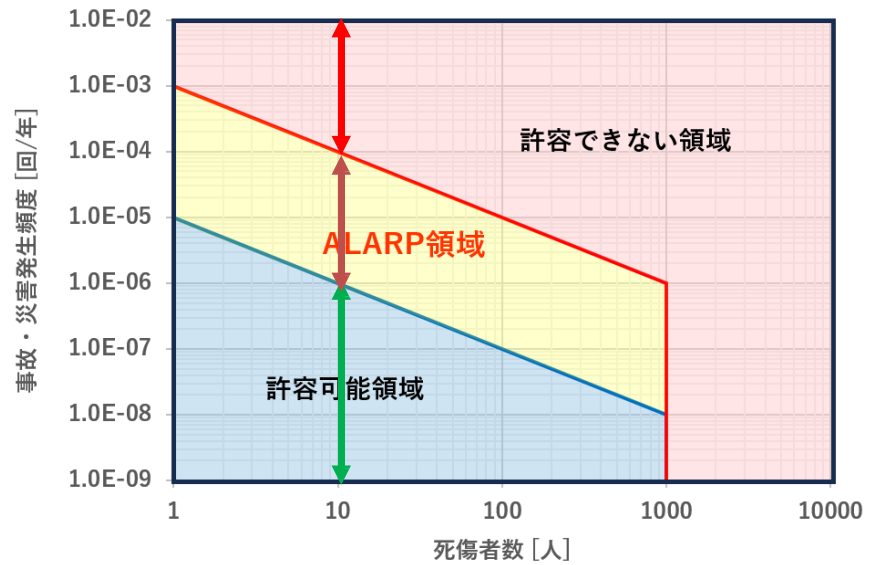


安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



ALARPの例

- あるプラントでの事故・災害による想定死傷者数と、その事故・災害が発生する頻度
 - 死傷者数が10人の事故・災害が想定されるケース
 - その発生頻度が10E-6回/年(1,000,000年に一回発生)以下なら許容可能
 - 10E-6~10E-5回/年(1,000,000年~10,000年に一回発生)ならALARP
 - 10E-4回/年(10,000年に一回)以上の発生頻度であれば許容できない



プラントエンジニアのおどりば(<https://yuruyuru-plantengineer.com/risk-management-alarp/>)引用

13

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



ALARPへの対応

- ALARPに対応するためには、対象となるプラントで想定される事故・災害の規模や発生頻度を定量的に評価(リスクの定量的評価)する必要がある。
- 「その結果が許容可能か、許容できない場合はどの程度の対策を講じれば許容可能となるか」を評価・検討する。

プラントエンジニアのおどりば(<https://yuruyuru-plantengineer.com/risk-management-alarp/>)引用

14

Kazuhiko Suzuki

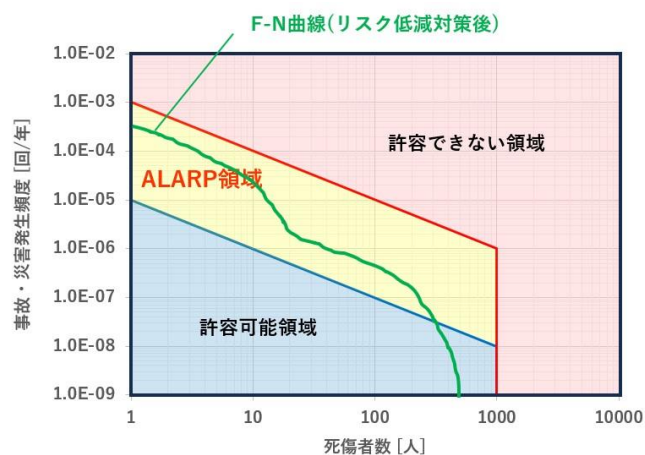
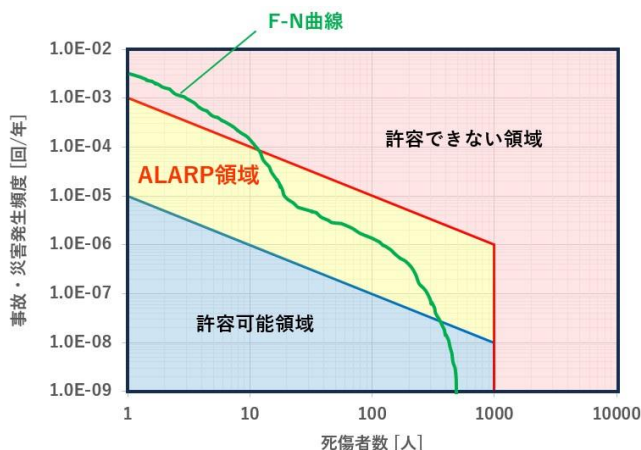


安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



F-N 曲線(F は頻度(frequency), N は犠牲者数(number of fatalities))

- 必要に応じて, リスク評価により, 想定される事故・災害の規模と発生確率をプロットした曲線(F-N 曲線)を作成し, リスク低減対策後にALARP領域以下になっていることを確認する。



プラントエンジニアのおどりば(<https://yuruyuru-plantengineer.com/risk-management-alarp/>) 引用

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

大規模系の事故・災害防止のためには
技術的根拠に基づいた
リスク解析・リスク低減(安全化)が必要

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

高度なリスクアセスメント, リスク低減の実践

- 高度なリスクアセスメントは, 2011年の化学プラント事故を防ぐために, 危険源の特定については従来の手法では, 抽出されなかった危険源に対して網羅性を高めることを要求されている。
- 精緻な危険源特定, 正確なリスクの算定, 技術的根拠の基づくリスク低減(安全化), その結果として重大災害が発生しないことを説明(証明)する。
 - 安全をシステム・論理的に評価し, 実証する。
 - 独立防護層(IPL)の概念に基づき, 安全インターロックなどのハード, 安全設備を充実(オペレータの質低下, ミスを補う)する。

Kazuhiko Suzuki

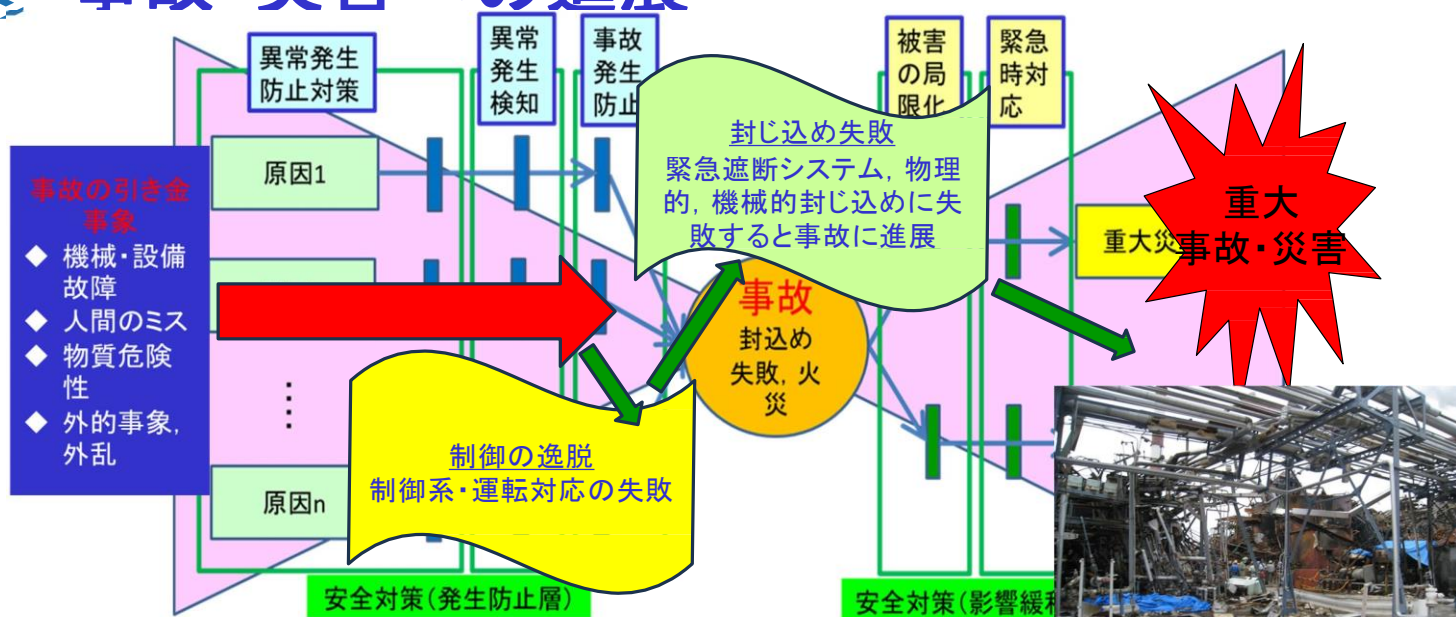


安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

17

第10回 OmegaLand ユーザー会 講演

事故・災害への進展



Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

プロセス情報, 物質
情報, 設計図書等

リスクアセスメント実施

発災事象影響解析

発災事象影響解析のモデル
□ 決定論的事故影響解析手法
拡散モデル, 火災モデル
(ジェット火災, プール火災, フラッシュ火災, ファイヤーボール), 爆発モデルといった事故現象モデル

リスク低減対策の検討に用いられる主な手法
□ Bow-Tie分析
□ LOPA
□ HAZOP LOPA

リスクの目標設定

リスクアセスメント対象施設に関する情報収集

ハザードの特定

発災事象の特定

ハザード同定

ハザード同定に用いられる主な手法
□ What-if
□ HAZOP
□ FMEA

発災事象影響解析
・ 蒸気雲爆発
・ プール火災
・ ファイヤーボール
・ 毒性ガス拡散

事象発災頻度推定

発災事象発生頻度推定

発災事象発生頻度推定に用いられる主な手法
□ ETA
□ FTA
□ CCA

リスクの算定

リスクの評価

リスク許容は許容できるか

no

リスク低減対策検討

システムの見直し／修正
リスク低減対策検討
・ 事故予防対策
・ 被害拡大防止対策

yes

終了

19

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

安全防護策の強化

安全防護を適切に構築すること,
その中身は考える必要がある。

- リスクを低減するためには, 安全計装系設置により, 事故発生頻度を下げる(事故発生防止)。
- さらに, 事故発災後の影響度を軽減(拡大防止, 影響緩和)することが重要。

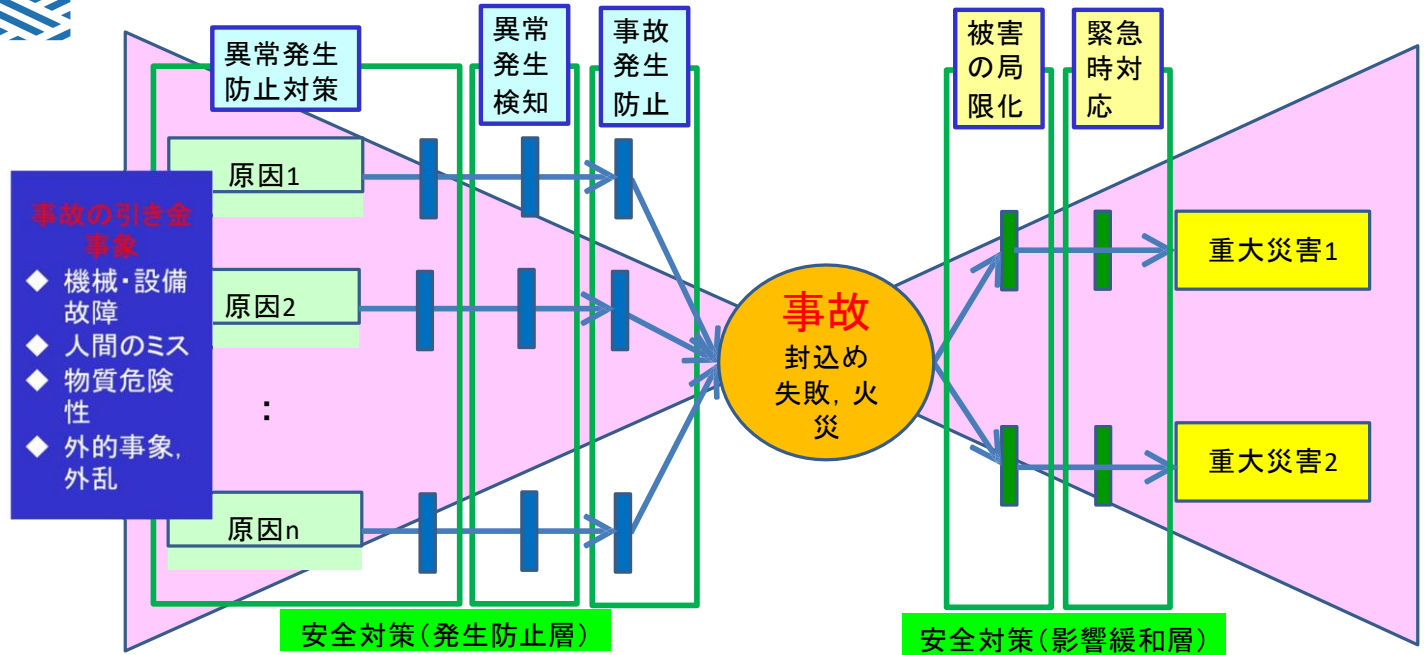
Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

20

多重防護によるリスクの低減

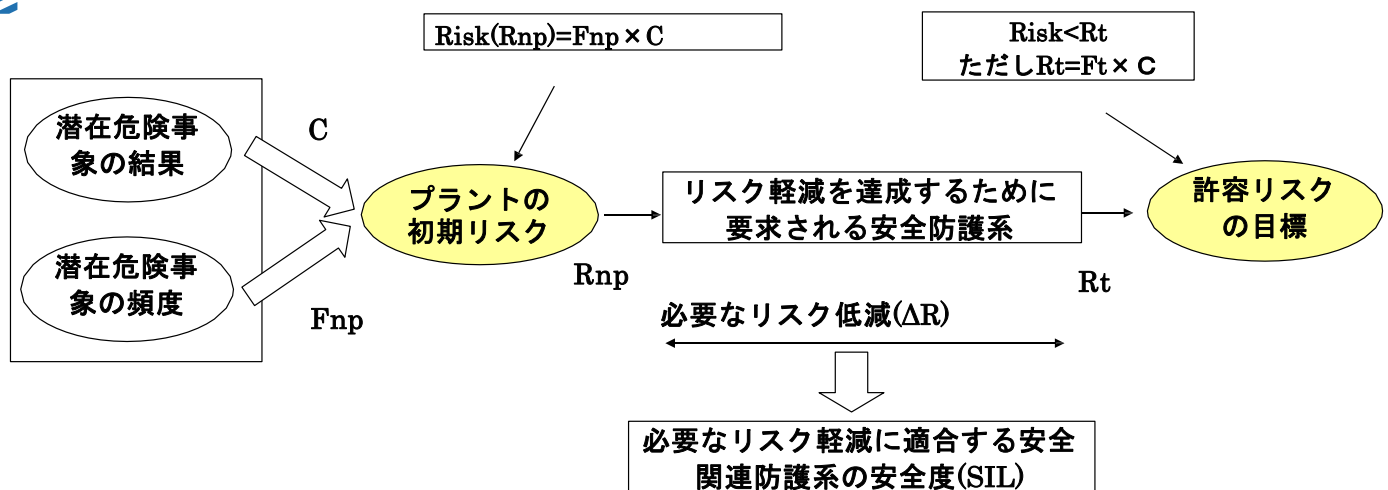


21

Kazuhiko Suzuki

安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

リスクに基づく安全化



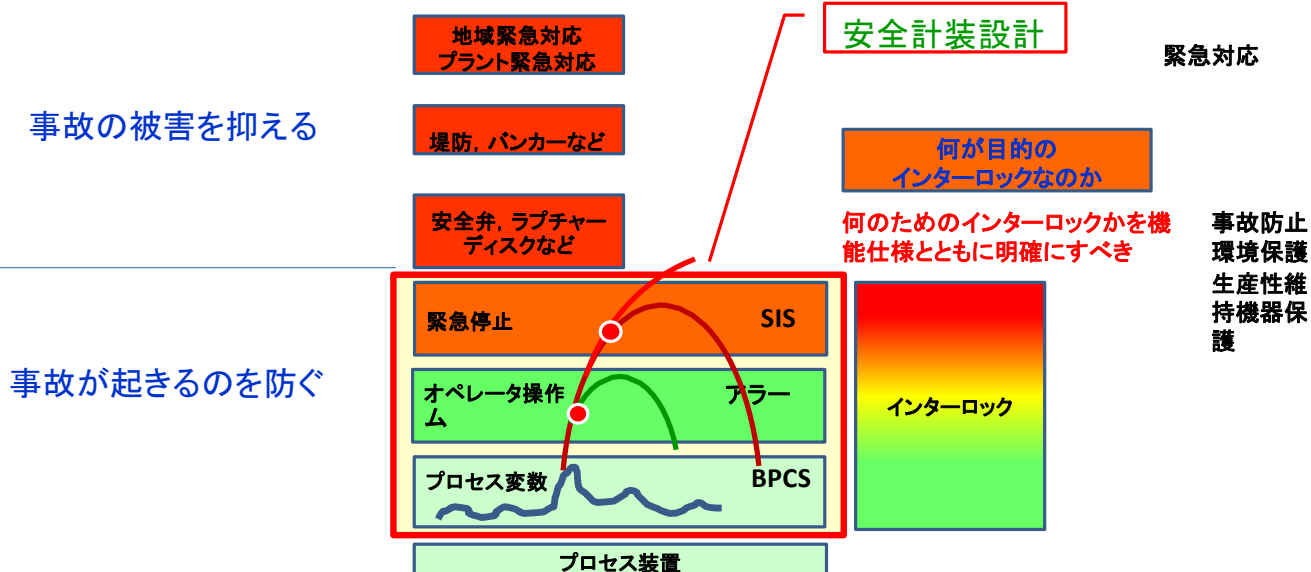
安全度水準 (SIL) の決定

22

Kazuhiko Suzuki

安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

独立防護層 (IPL : Independent Protection Layer) による リスク低減



23

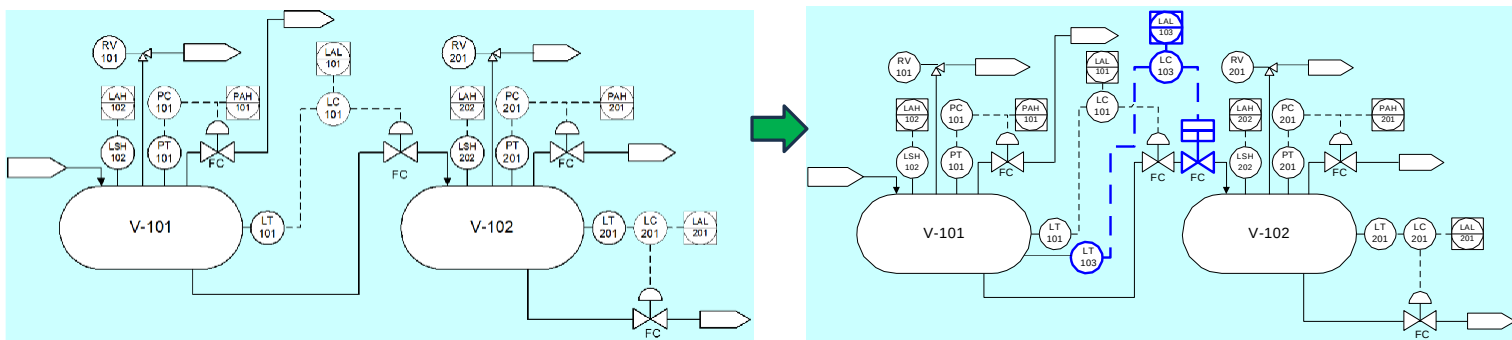
Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



LOPA, HAZOPLOPAにより安全計装設備を追加実施例



24

Kazuhiko Suzuki



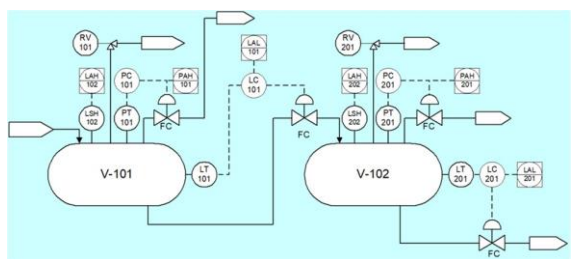
安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science





HAZOPの実施と現状の安全対策の確認

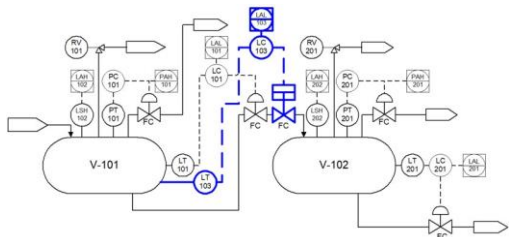
ずれ	原因	影響	対策
ラインA流量増加	LV-101故障全開	V-101のガス吹き抜け、V-102における圧力が、その設計圧力を超え、異常昇圧による機器破損（漏洩）に伴って可燃性・毒性物質大気放出されることによる火災・爆発、および毒性影響	RV-201（この吹き出し容量は、LCV-101全開によるガス引き抜けの事態に対応している。）



IPL	安全設備	V-102異常昇圧 (LV-101ガス吹き抜けケース)	IPLの有効性
1	プロセス設計	LV-101による減圧を考慮した範囲での運転圧力に基づいた設計圧力	このシナリオに対しては無効
2	プロセス制御	LV-101	このシナリオに対しては無効
3	重要警報 運転対応	LAL-101 (V-101/P&ID上表記省略), LAH-202	このシナリオに対しては無効
4	インターロック		設置無し
5	安全弁	RV-201	吹き出し量に対応しており有効
6	防液堤等		設置無し



LOPAによる緊急遮断弁を設置した場合のSIL決定例



SIF No :	安全計装機能の名称	V-101 液面喪失による高圧ガスのV-102への吹き抜けを防止する。	
	記述	確率(PFD)	頻度 (1/年)
最終事故影響 (過酷度)	高分離槽の液面喪失に伴い、低圧分離槽V-101のガス吹き抜けにより、V-102における圧力が、その設計圧力を超え、異常昇圧による機器破損（漏洩）に伴って可燃性・毒性物質が系外に放出されることによる火災・爆発、および毒性影響により、複数名致死の危険性がある。		
許容リスク頻度			1×10^{-5}
初期事象	液面調節弁制御ループ (LT-001)故障		1×10^{-1}
条件修正係数	着火・爆発確率	1	
	影響を受けるゾーンに人員が存在する確率	0.2	
	致死の確率	1	
	その他事象等	1	
緩和されていない影響結果 (事故) の発生頻度			2×10^{-2}
独立防護層 (IPLs)	Basic Process Control System (BPCS)	1	
	運転員による対応	1	
	他のSafety Instrumented Function (SIF)	1	
	安全弁、破裂板	1×10^{-2}	
全てのIPLのPFD	他のIPL	1	
緩和された影響結果 (事故) の発生頻度		1×10^{-2}	
SIFが受け持つべきPFD			1×10^{-4}
割り当てられたSIL		5×10^{-2}	
		SIL-1	





緊急遮断弁を設置した場合のHAZOP LOPA

ずれ	原因	IEF	影響	既存の安全策	IPL-1	PFD	IPL-2	PFD	IPL-3	PFD	IPL-4	PRD	IPL-5	PFD	IPL-6	PED	PFD Total	影響家発生頻度
ラインA流量増加	LV-101故障全開	1×10^{-1}	V-101のガス吹き抜け、V-102における圧力が、その設計圧力を超え、異常昇圧による機器破損（漏洩）に伴って可燃性・毒性物質大気に放出されることによる火災・爆発、および毒性影響	既存の安全策は当該事象については対応不能	本質安全	1	BPCS	1	LAL-103 (V-101/P&ID上表記省略)、LAH-202	1	SIL-2の緊急遮断弁	1×10^{-2}	安全弁 RV-201	1×10^{-2}	無し	1	1×10^{-4}	1×10^{-5}

27

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



デジタル化の試み (岡山大学現役教授時代(20年以上前)の研究紹介)

デジタル化によって、

■ プラントの安全が大きく変わる(変える)ことが出来る

- リスクアセスメント
- 運転支援・誤操作防止
- 教育・訓練など

28

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



研究例－1 リスクアセスメントの自動化

人が考えながら実施していた
HAZOPをコンピュータが実施する！

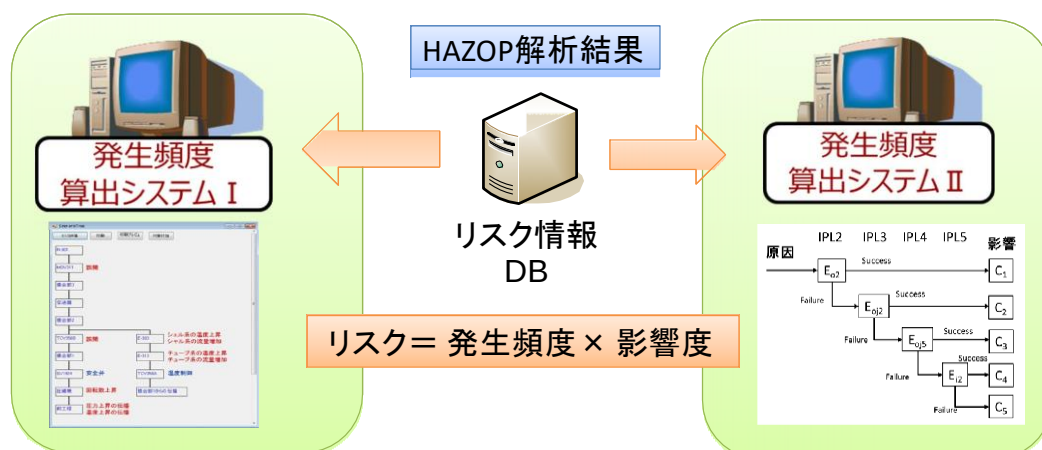
Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

29

リスク評価システム



対象プラント全体が持つリスクの評価
プラント設計時のリスク評価に効果的

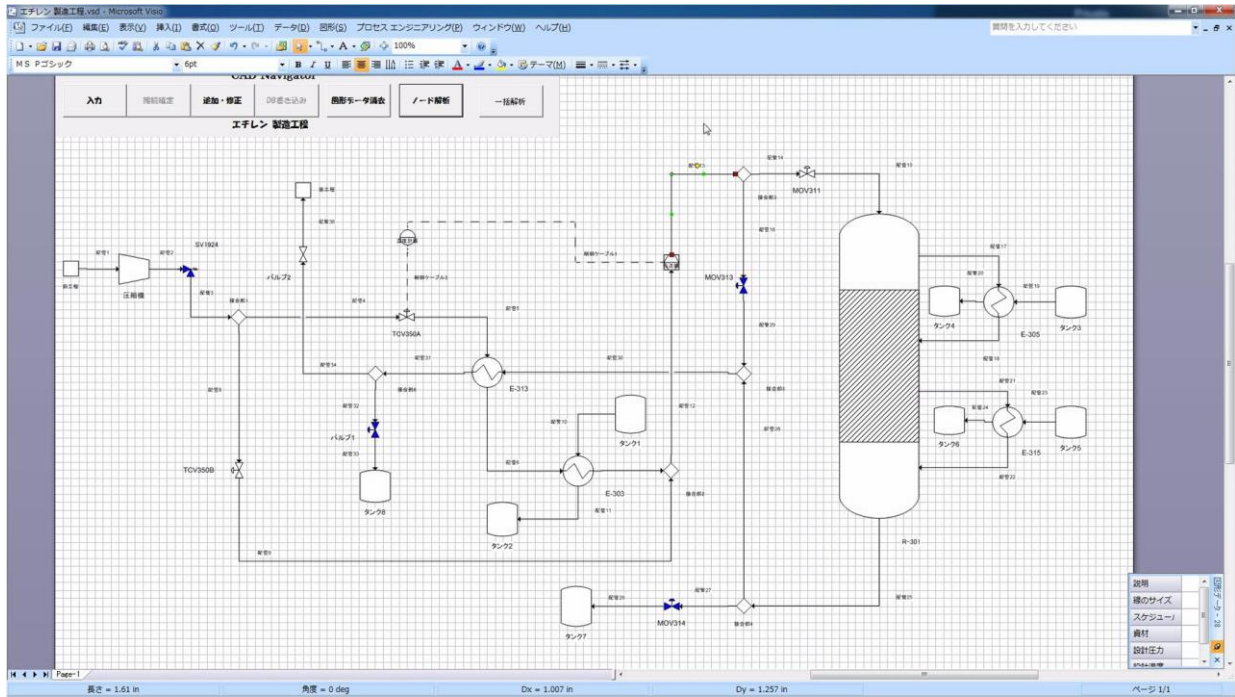
1つの原因事象が持つリスクの評価
⇒許容できない最終事象に対する安全対策
プラント運転時のリスク評価に効果的

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

30



31

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

研究例 -2 VR技術による重大事故の体験

VR,シミュレータを使えばプラントで事故を起こし,それを体験できる!

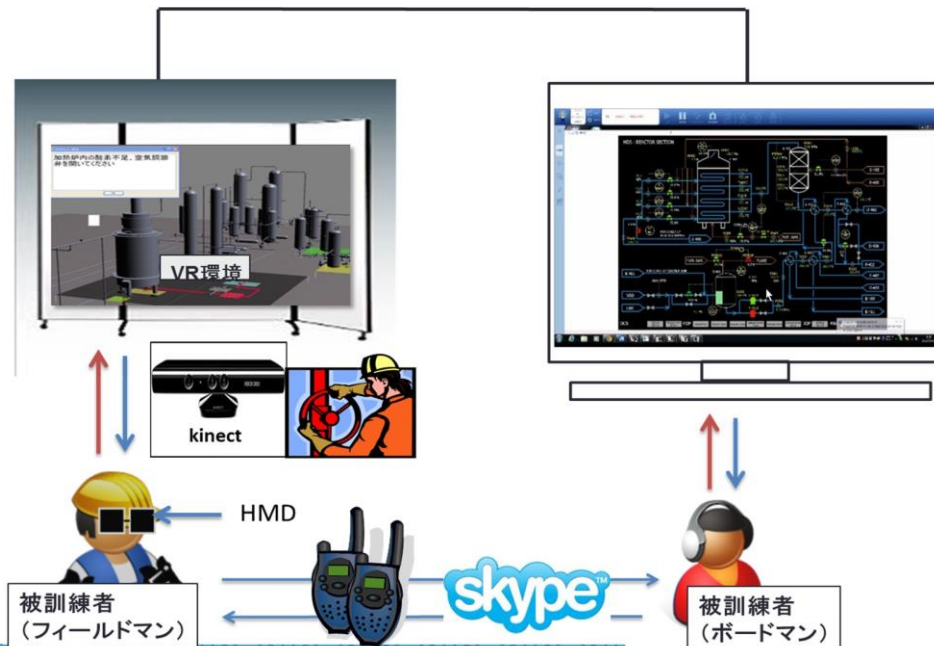
32

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

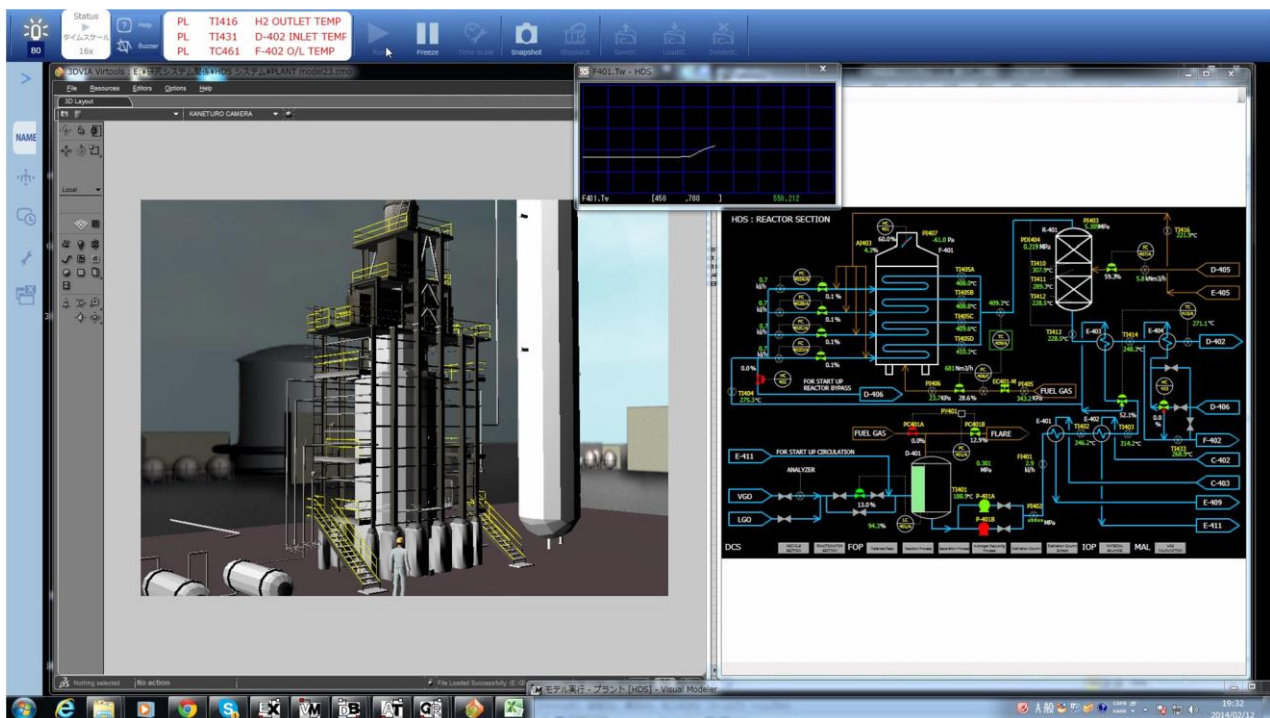
システム概要



Kazuhiko Suzuki

安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

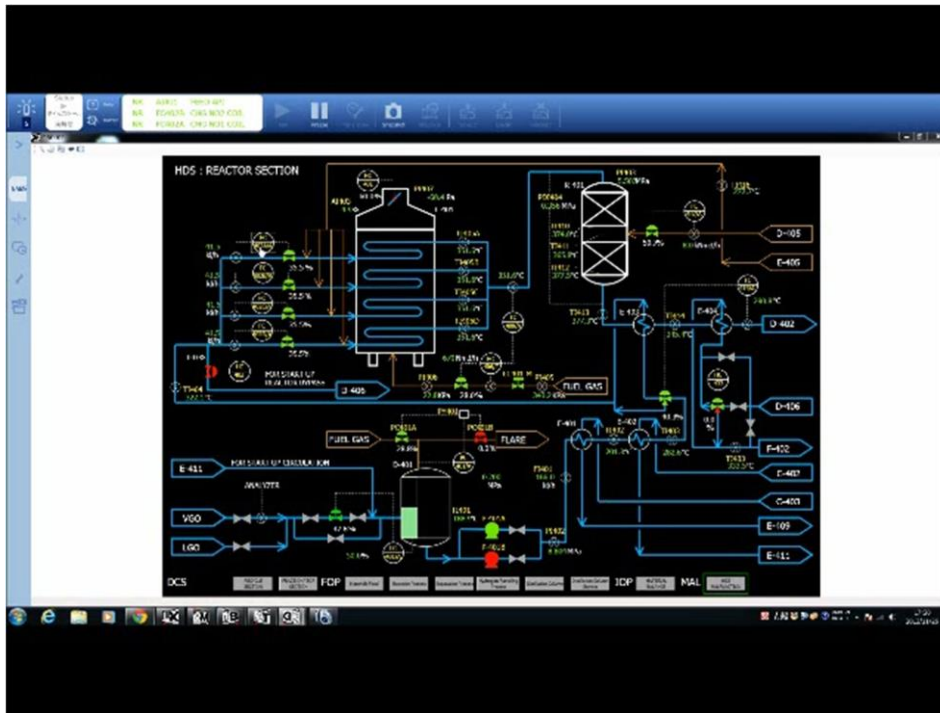
33



Kazuhiko Suzuki

安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science

34



35

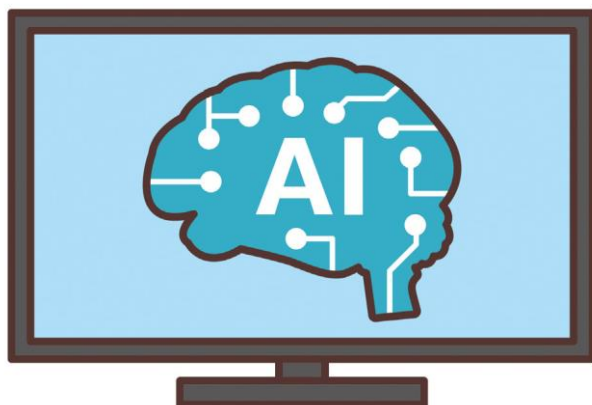
Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



進化したデジタル技術



デジタル化,
データ化で製
造現場が変
わる!

36

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science





ご安全に
Thank you for your attention.

38

Kazuhiko Suzuki



安全・安心科学研究所
Institute of Safe&Security Science



37