

2017-3-9日本機械工業連合会：浜離宮朝日ホール
講演会「機械安全に係わる新たな動き」

機械と人間との協調安全に向けて

向殿政男
明治大学名誉教授

機械安全技術を振り返る

機械安全技術の流れ

- 危ない機械(コスト、機能、性能、納期等重視)を人間が注意して使う・・自分の身は自分で守る時代⇒**Safety 0.0**



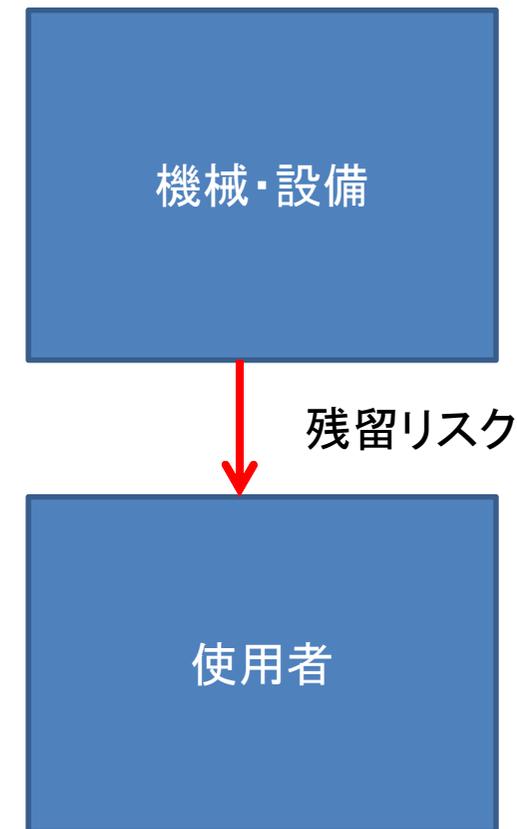
- 機械設備を安全化する・・機械安全技術の時代⇒**Safety 1.0**

機械安全技術 **Safety 1.0**の流れ

- Safety 1.1:機械の構造に基づく安全: **本質安全**
- Safety 1.2:信頼性に基づく安全; **本質的安全**
- Safety 1.3:ヒューマンマシンインターフェースに基づく安全: **人間工学**
- Safety 1.4:電気・電子の制御に基づく安全:
安全装置、制御安全
- Safety 1.5:コンピュータに基づく安全: PLC, **機能安全**
- Safety 1.6:通信に基づく安全: **セキュリティ**

機械安全技術Safety 1.0の指導原理

1. 機械・設備のリスクを許容可能なリスク以下に抑え、かつ合理的な範囲内できるだけ小さく抑える (ALARPの原則)
2. 残留リスクを開示する、使用上の情報を提供する
3. 使用者は、残留リスクを意識して、訓練、組織、保護具等で自分で安全を確保する



機械安全技術の指導原理

～スリーステップ・メソッド～

(1) 本質的安全設計によるリスクの低減

(2) 安全防護(安全装置等)による

リスクの低減

(3) 使用上の情報の提供による

リスクの低減

↑ 設計製造側の役割

↓ 使用者の役割

* 訓練、個人防具、組織・体制・管理によるリスクの低減

スリーステップメソッドの原点

安全実現技術の種類と範囲^{*1, *2)}

- ・ **直接的**・・・最初から危険を排除するような設計解
- ・ **間接的**・・・特別な保護システムや保護装置
- ・ **警報**・・・単に警告するような警報安全システムは極力避けるべきであり、やむを得ない場合に最後の手段として用いるものであって、手軽に用いてはならない

*1) DIN 31000, 1971

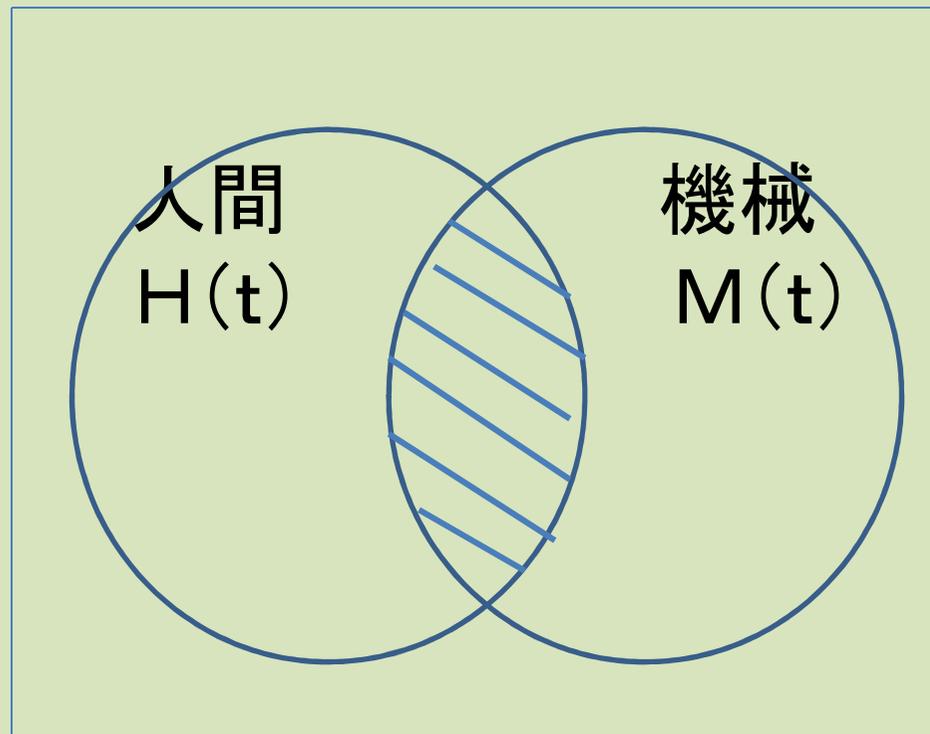
*2) 工学設計—体系的アプローチ、G. ポール、ケン・ワラス、培風館、1995 (第3版: エンジニアリングデザイナー—工学設計の体系的アプローチ、森北出版、2015)

*ISO12100の成立は、2003年

機械安全技術の指導原理

- 隔離の原則: $H(t) \cap M(t) = \Phi$ (空集合)
- 停止の原則: $M(t)$ は停止

- $H(t) \cap M(t) \neq \Phi$
⇒
 $M(t)$ は停止
- $H(t) \cap M(t') \neq \Phi$
⇒
 $t \neq t'$



隔離・停止できない場合の処置

* 保守点検、修理、教示、……

- 定常モードと非定常モードに分けて、非定常モードとして対応する
- エネルギーを小さくする、速度を落とす、…
- 熟練者にだけしか対応させない…

- 管理に任せる(ルールと人間に依存)
- 事故の多くは非定常状態で発生している

これまでの安全で不都合が…

- **フレキシブル**な生産をしたい
 - 稼働率を高めたい、**生産性**を高めたい
 - もっと**人を大切に**したい
 - **安全と生産性を両立させたい**
- **隔離の原則、停止の原則**（時間的、空間的分離）
では困難
- **人間と機械が一緒に協働して、作業をしたい**

新しい機械安全技術の方向が見えてきた！

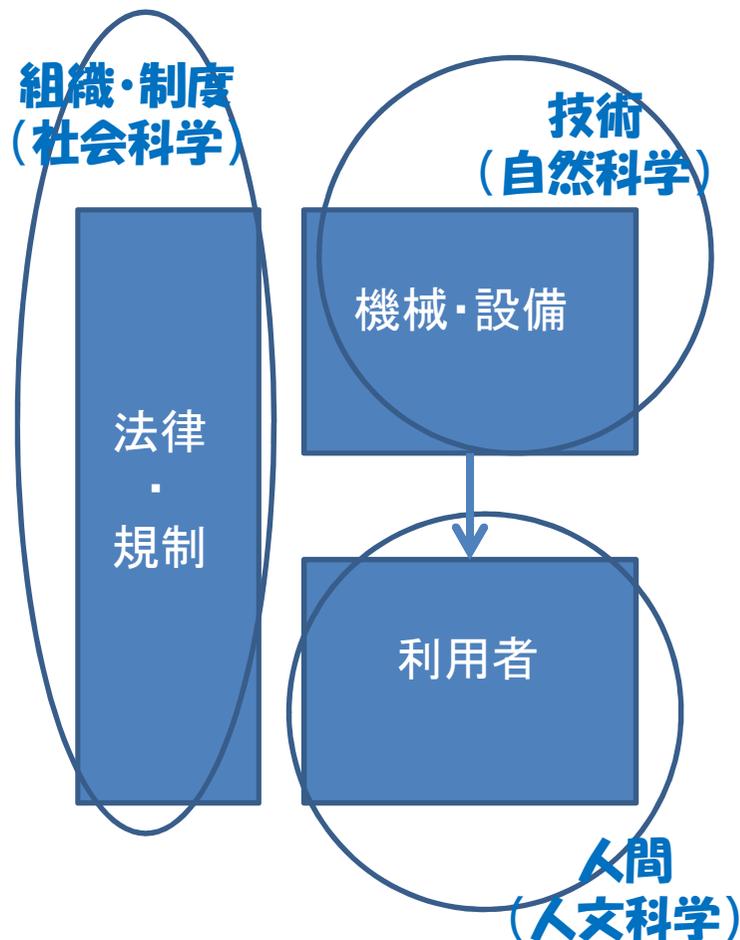
- ICT技術の進歩で、これまで出来なかったことが可能になりつつある
- IoT (Internet of Things)、AI (人工知能)、ビッグデータ、・・・コンピュータパワー、インターネット技術の圧倒的な進歩が可能にしつつある
- ただし、繋がることによる / 大量データによる / 人工知能の悪用による等の新しいリスクが生まれてきている

新しい機械安全技術の方向の兆し はすでに出てきている

- 自動車の支援運転、無人運転
- 介護ロボットの実用化に向けて
- 機能安全
- 支援的保護システム
-

Safety 2.0 とは

新しい視点：安全は総合的な学問である(安全学)

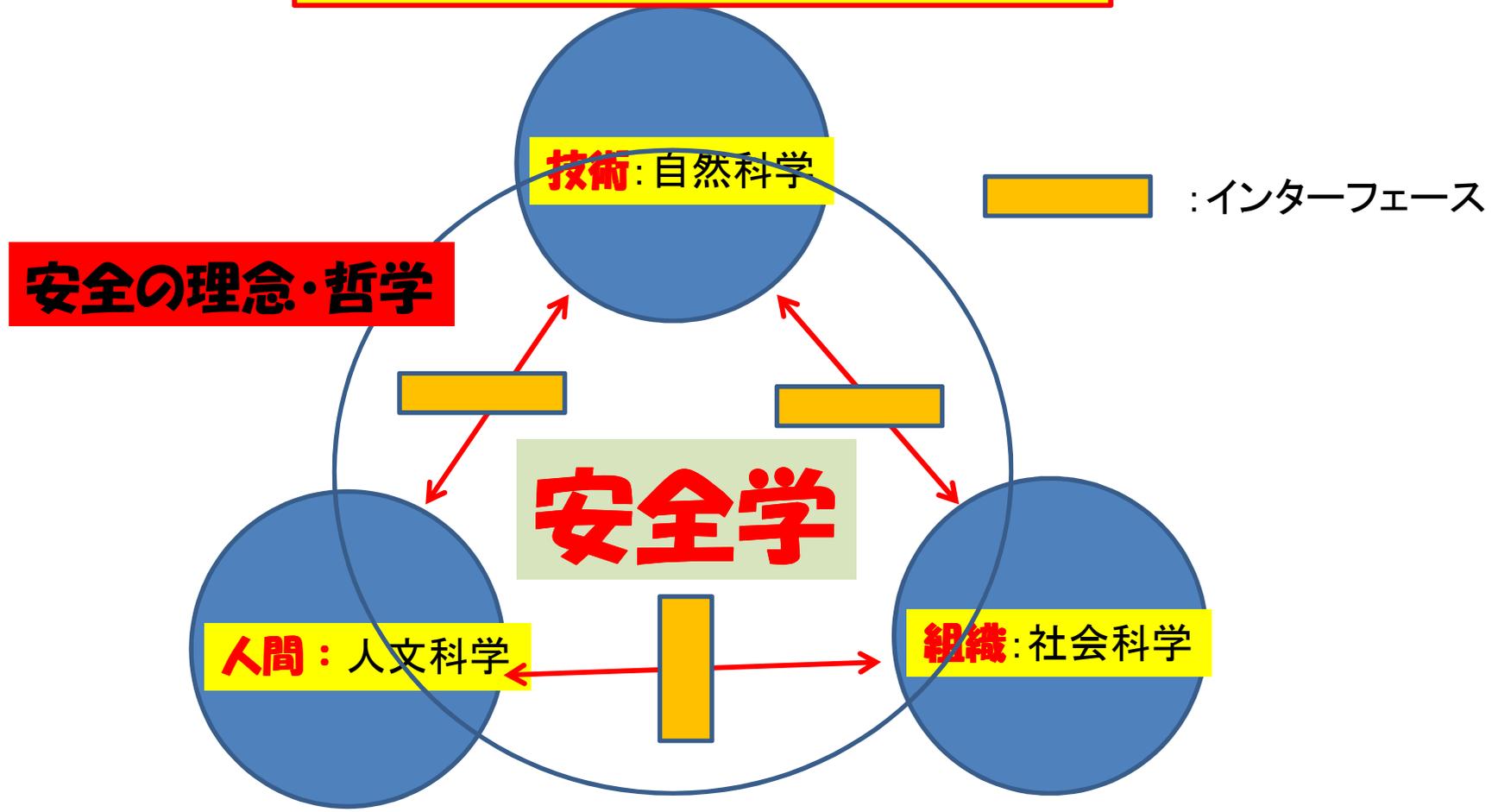


* 安全は、**技術**、**人間**、**組織(仕組み)**を総合して初めて実現される

* **安全学(Safenology)**は、**自然科学**、**人文科学**、**社会科学**を包含した**文理融合型**、**領域横断型**の総合的な学問体系である

安全学の視点

～安全は総合的な学問である～



安全は、ものづくり安全だけではない: 医療安全から国家安全まで

安全の新しい時代

～Safety 1.0 から Safety 2.0～

これまでの**機械安全**（**1.本質的安全**、**2.制御安全**、**3.機能安全**）（これを「**Safety 1.0**」と呼ぶ）

から、技術、人間、組織の**統合・協調**の時代

→**経営者**の決断が重要となる

→人間と機械の**共存**

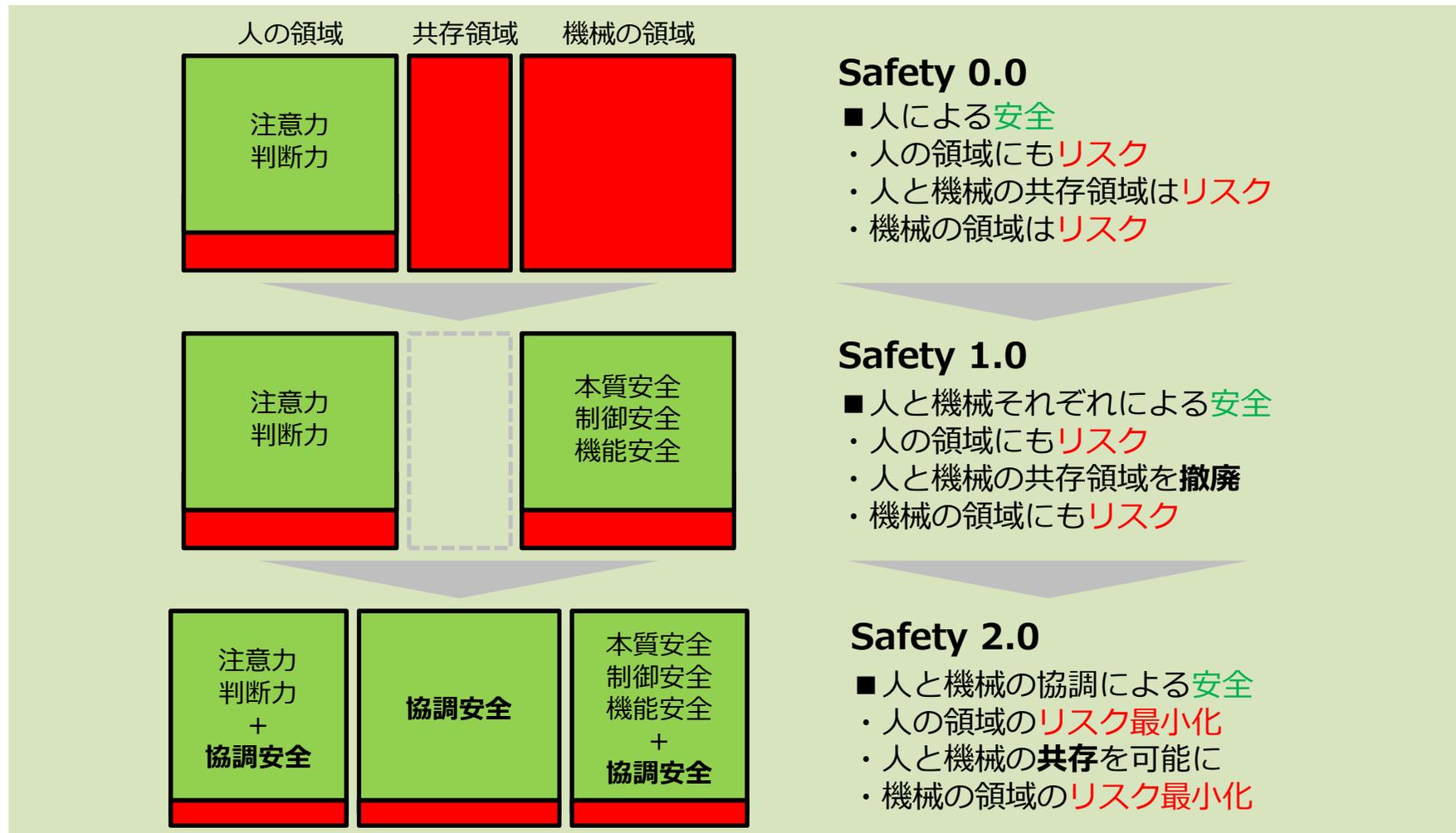
→**ICT**、**インターネット**、**IoT**の進歩で、それが現

実に

「**Safety 2.0**」

・**人とモノと環境**が**協調**して構築する安全、すなわち
協調安全(コラボレーション・セーフティ)と呼ぶ

Safety 2.0とは



安全・危険情報共有の時代へ

- * 技術と人間と組織・環境とがお互いの**情報共有して協調**できる時代へ (**協調安全**)
- * ICT技術の進展でそれが可能になってきた(センサー技術、インターネット技術、AI技術、ビッグデータ技術、クラウド技術、……)

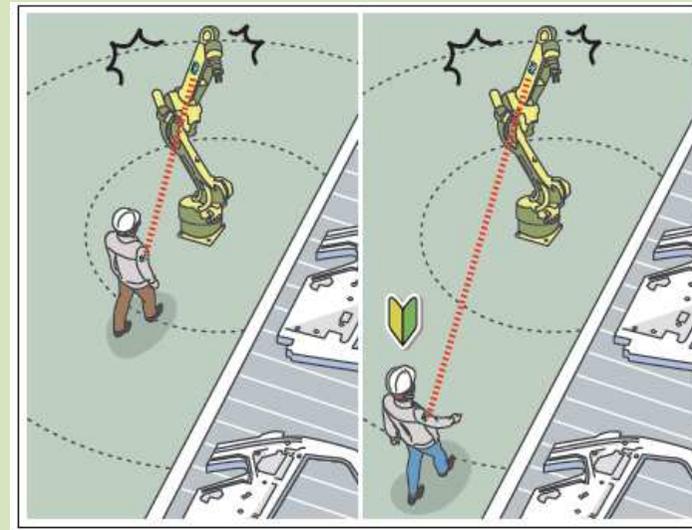
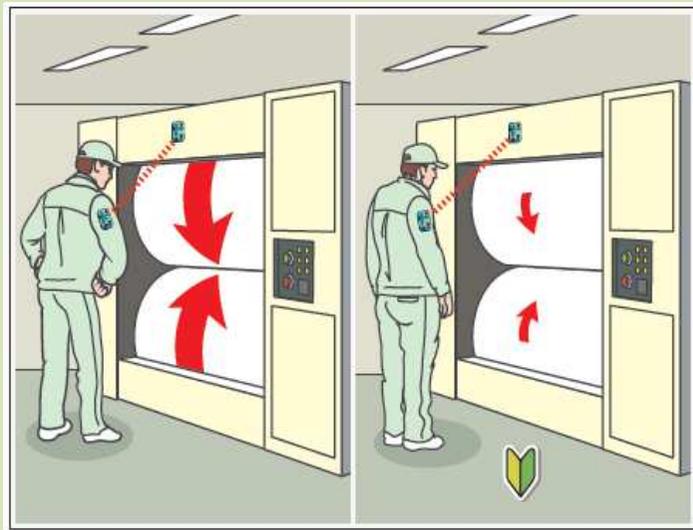
例えば、

- 人間からバイタルデータやRFID等で個人の体調、経歴、能力等を**発信**することができる
- 機械・設備側から、自分の状況の発信と共に、使用者等人間に対して、相手の状況に応じて**知的に対応**することができる
- 組織・制度・環境等から機械設備、使用者等に情報提供して、**総合的に判断して管理**することができる

Safety 2.0

～止めない安全～

- ・「止める安全」(2値)から「**止めない安全**」(多値)へ
人の能力に応じて、機械の速度を制御したりゾーンを決めることで、安全性と生産性を両立



→稼働率の向上、生産性の向上

イラスト: 楠本礼子

Safety 2.0

～安全の見える化～

- IoTによる常時監視で「安全(不安全)の見える化」
人の体調、構造物や部品の状態を常に監視することで、安全(不安全)を
見える化



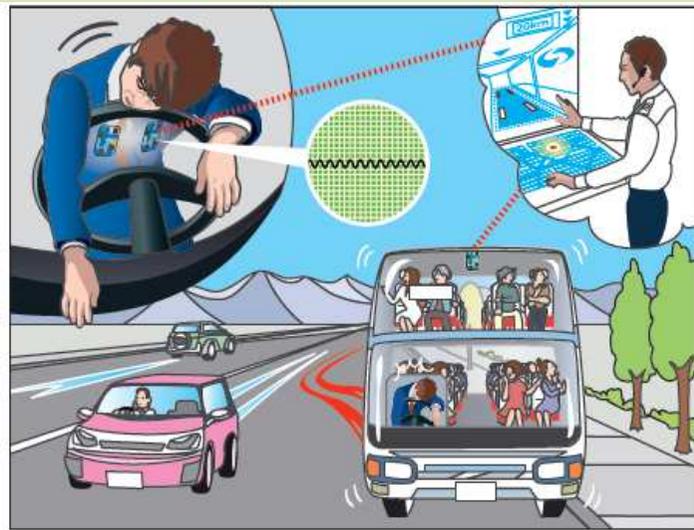
→ **人に優しい経営、安全への的確な投資**

イラスト: 楠本礼子

Safety 2.0

～コラボレーション・フェールセーフ～

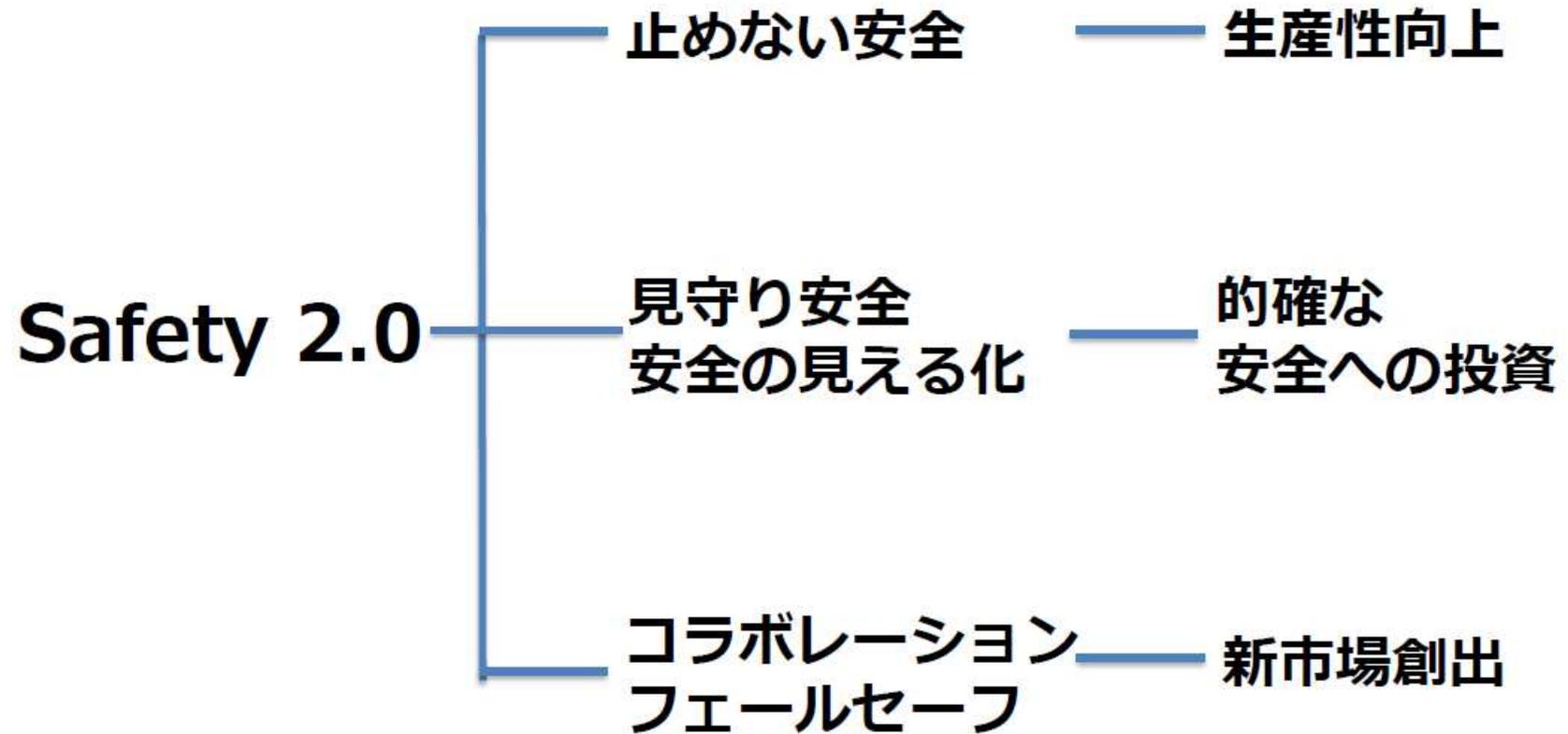
- ・協調が生み出す**コラボレーション・フェールセーフ**
人や環境に障害が発生したときに、その情報を受けて機械が人を安全側に誘導して安全を確保



→**新技術、新市場**の創出

イラスト:楠本礼子

Safety2.0による便益



データ提供: 日経BP社

まとめ

機械安全技術の歴史

(0 **人間**の注意で安全が確保されていた時代)

1 **機械技術**で安全を確保する時代:

本質的安全設計

2 **電気、電子制御**が導入された時代:安全装置、
制御安全

3 **コンピューター**が導入された時代:

PLC、機能安全

4 **インターネット**に機器、センサー等が接続される
時代:IoT、セキュリティ⇔**新時代へ突入**

安全の新しい時代

～技術・人間・組織の統合・協調の時代～

* これまでの安全の歴史:

(Safety 0.0)

0. 素朴に、人間の注意で安全が確保されていた時代

(Safety 1.0)

1. 技術で安全を確保する時代

2. 人間のミスが事故の主流になった⇒ヒューマンファクターが重視される時代

3. 複雑なシステムの出現⇒マネジメント(管理)が重視される時代

4. 高度な技術の出現⇒コンピュータが安全に用いられる時代

5. 次は？

安全の新しい時代

～技術・人間・組織の統合・協調の時代～

* 次の時代の安全のコンセプトは何か？ (機械安全だけではない)

- 技術、人間、組織・環境の統合・協調の時代：経営者の決断が重要となる時代 (安全学)
- 機械と人間の共存、安心の時代
- ICT、IoTの進歩で、それが可能になった

⇒ Safety 2.0

Safety 2.0時代のリスク

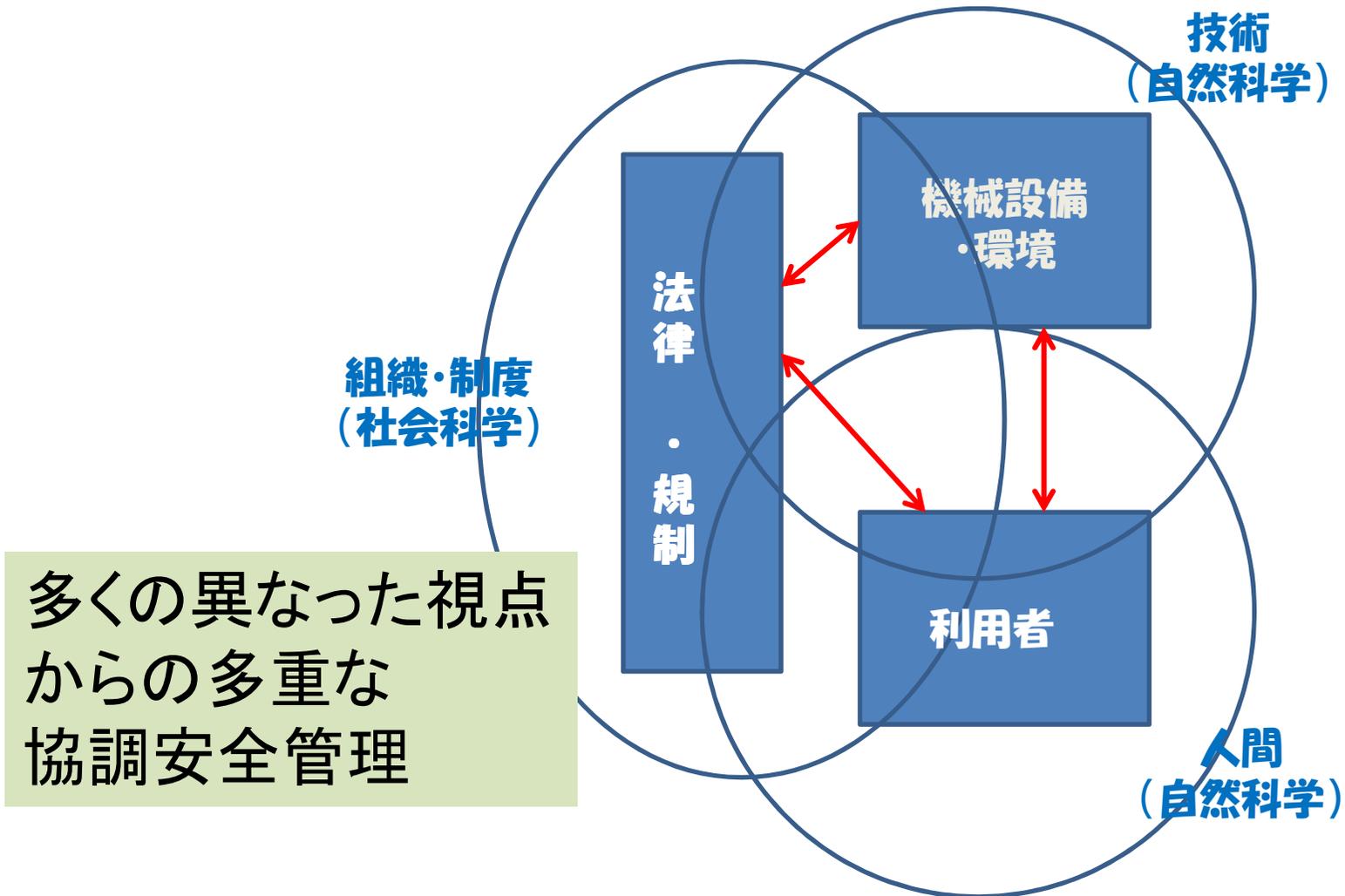
～セキュリティ～

- IoT時代の新たなセキュリティ問題
- 情報空間と物理空間との連結
- 情報空間のセキュリティ問題は、物理空間を通じてセーフティ問題に直結する
- セーフティ(人命)とセキュリティ(機密)とリラアイアビリティ(可用性)の融合と協調
- リスクゼロがないようにセキュリティに完璧はない
- セキュリティの世界に機械安全の概念の応用可能性

日本の安全の良さを再確認する時代

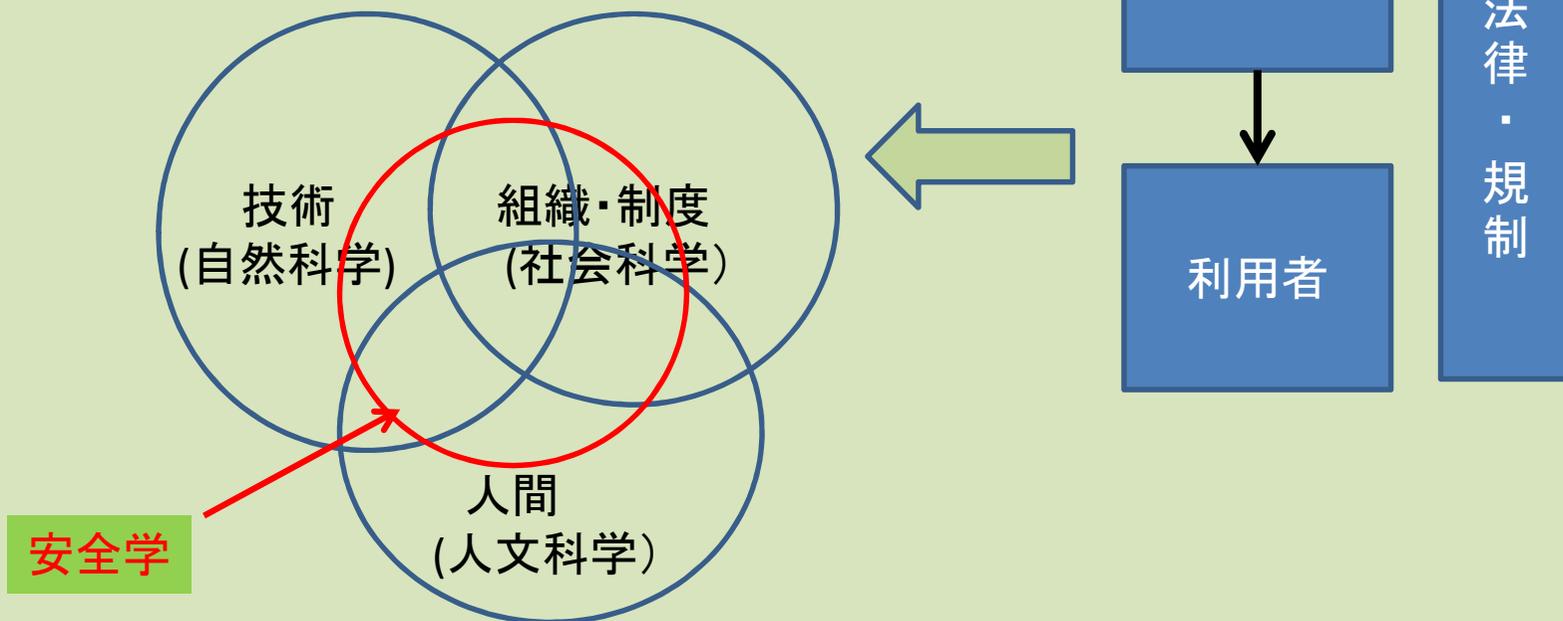
- 現場の人間の優秀さとまじめさと責任感
- 年齢と共に自分の役割だけでなく、他との共通領域に対しても知識と経験がある
- 全体的な観点からお互いの役割を理解・尊重し、柔軟で緩やかな発想・いつでも他の立場になり得る
- 異なった立場のステークホルダーが互いに重複を許して安全を見守り、確保する
- 多くの異なった視点からの多重な安全管理
- おせっかいの思想
- 多層防護(チーズモデル)と共に多重安全へ

多層防護（千層モデル）と共に 多重安全へ



Safety 2.0と安全学は、 日本から世界へ

- 安全学: **Safenology**
- Safety 2.0は、**和の安全**を目指す
- Safety 2.0は、**協調安全**を目指す



安全設計における歴史的な流れ

- スリーステップメソッド

(1) 本質的安全設計

(2) 安全防護

(3) 使用上の情報

(機械設計の立場から
人間の立場の重視へ)
(人間を守る視点に加えて
人間と協調する視点へ)

- 安全設計技術の進歩

(1) 従来：構造により安全を確保する⇒構造的な安全設計

(2) 現在：安全制御、コンピュータにより安全を確保する⇒機能安全設計

(3) 今後：技術と人間、組織との協調、情報共有による安全確保へ⇒安全学に基づく安全設計(これからの安全確保の方向性)