

ロボットの社会実装：将来と課題

東京大学 国際高等研究所 東京カレッジ
浅間 一

<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/asamalab/>
asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp

ロボットに対する 社会的ニーズの変化

ロボットの社会的ニーズ (ChatGPTによる)

1. 高齢化社会への対応

介護ロボット, 会話・感情支援ロボット

2. 労働力不足の補完

産業ロボット, サービスロボット

3. 教育や発達支援

教育支援ロボット, 発達障害支援ロボット

4. 災害対応・危険作業

レスキューロボット, 危険作業ロボット

5. 家庭生活の支援

家事ロボット, ペット型ロボット

6. 社会的つながりの維持

コミュニケーションロボット, マスコット型ロボット

ロボット技術導入の動機

- 人に代わる：省人化（人と同等か人より上）
 - コストダウン（経済性）一人に比べて
 - 生産性向上（経済性）一人に比べて
 - 高度化一人に比べて
 - 労働力不足解消（経営的）
 - 人のできないことをする
- 人共存（ユーザとの共存，第三者との共存）
 - 高度化，質の向上
 - 人の能力の増幅
 - 人の労働環境改善，負担軽減，満足の上
 - 雇用を奪わない

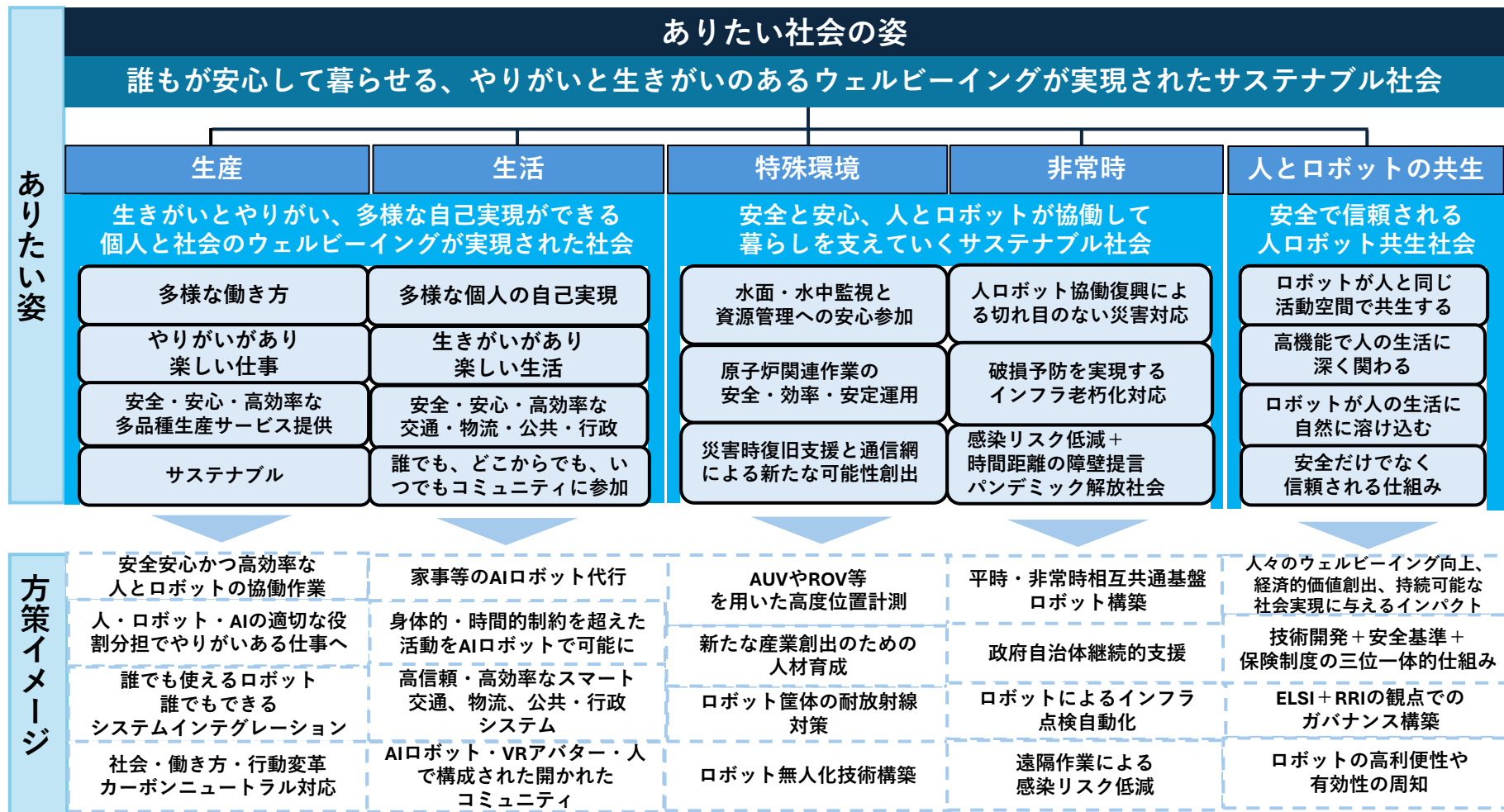
経済的視点だけでなく，新たな価値創出や人道的視点も重要

ロボット産業ビジョン

(2025.6.2, 日本ロボット工業会)

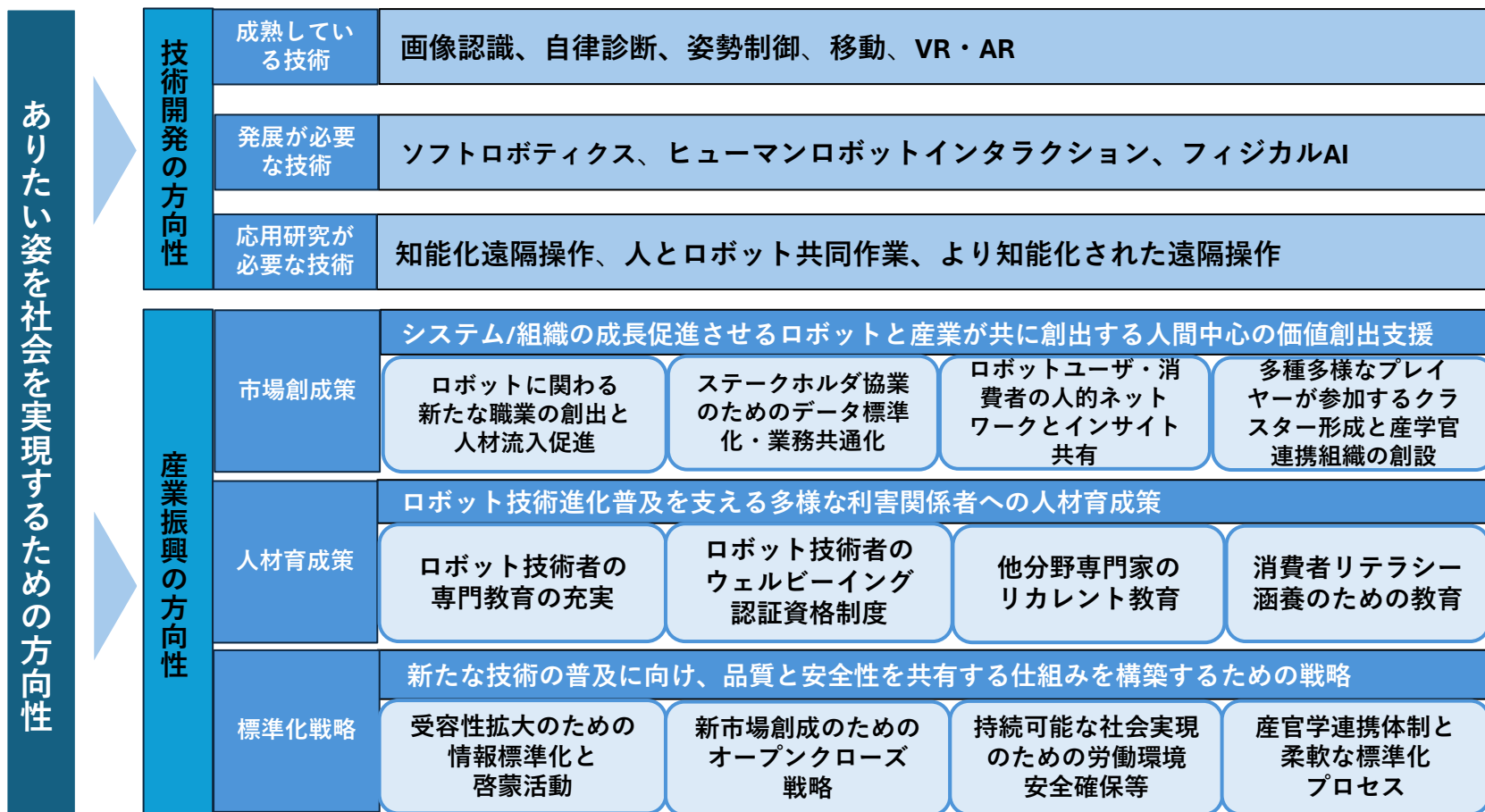
産業・生活・特殊環境・非常時の観点から2050年のありたい社会の姿を策定

ロボット産業ビジョンが策定する2050年のありたい社会の姿



ありたい社会の実現に向けた「技術開発」と「産業振興」の方向性

ありたい社会実現のための技術開発と産業振興の方向性



日本のロボット産業化の3つのポイント産業戦略

ありたい社会実現のための日本のロボット産業の役割

多様なステークホルダーとの連携により「ELSI」と「六方良し*」の視点を産業戦略に統合する		
①グローバル要請に応える	②国際競争力を強化する	③ウェルビーイングを価値として捉える
グローバル要請に対して、 下記の方角性のロボットで 精度・品質・気配りと言った日 本の優位性を活かす	日本の特徴を活かした 技術開発の方角性と 狙うべき産業分野を示す	ウェルビーイングを価値と捉え ロボット産業を発展させる
環境負荷低減技術	イノベーション促進、デジタル 化・ソフトウェア化、国際市場 前提のシステム開発を強化	個人・組織・社会の各レベル に応じてウェルビーイング をもたらすロボット価値
モジュール化推進と トレーサビリティ考慮	日本の特徴を活かした高品質を 特徴とするブランド形成と使い やすい生産システムの構築	個別最適化技術の開発と 産業エコシステム形成
コミュニケーション基盤 技術の強化	農業、サービス業、福祉介護等 のプロセス改善を狙う	ブランディングのための寄与度 計測・認証制度確立・人材育成

*六方良し：売り手，買い手，世間（社会），作り手，地球，未来

ロボットの社会実装の課題 (ChatGPTによる)

1. 技術的課題

環境適応能力の不足, センサー・認識技術の限界,
バッテリー・電源問題

2. 経済的課題

高コスト, 費用対効果の不透明さ

3. 社会的・制度的課題

法律・制度の整備不足, プライバシーと監視問題,
労働への影響・雇用問題

4. 倫理的課題

人間との関係性の設計, アルゴリズムの透明性・公平性

5. ユーザー受容性の課題

心理的抵抗感や不信感, 操作性・ユーザビリティ

技術的課題

ロボットに必要なとなる知能とは

- 多様な要求や無限定な環境での適応性
- ロボットに必要なとなる知能はロボットプラットフォームにAIを搭載すれば実現できるか？
 - Ill-defined, Ill-structured, 未知環境への適応的応答
 - ノイズ, 実時間性
 - ブラックボックス化, 説明可能性, 過学習

信頼性

- 従来のロボットの信頼性とAIロボットの信頼性
- 高い信頼性が要求されない応用分野での活用

身体知能／フィジカルAI

- ヒューマノイドロボットの身体にAIを搭載すればよい？
- 身体構造や制御システムのデザイン(身体性)
 - 受動歩行
 - 消費エネルギーやコミュニケーション・コストなどの制約条件
 - 移動知, アフォーダンス, 環境との相互作用のダイナミクス
- 無限定な環境やタスクへの適応機能
 - 学習, 発達, 進化



McGeerの受動歩行機(1991)

人共存ロボットに求められる機能

- ユーザとの共存
 - ユーザとの物理的インタラクション
 - 力学的支援, 共同作業, 安全, I/F
 - ユーザとの情動的インタラクション
 - 情動的支援, コミュニケーション, 可視化, I/F
 - 役割分担
- 第三者(公衆)との共存
 - 安全・非干渉(邪魔にならない)
 - 衝突回避

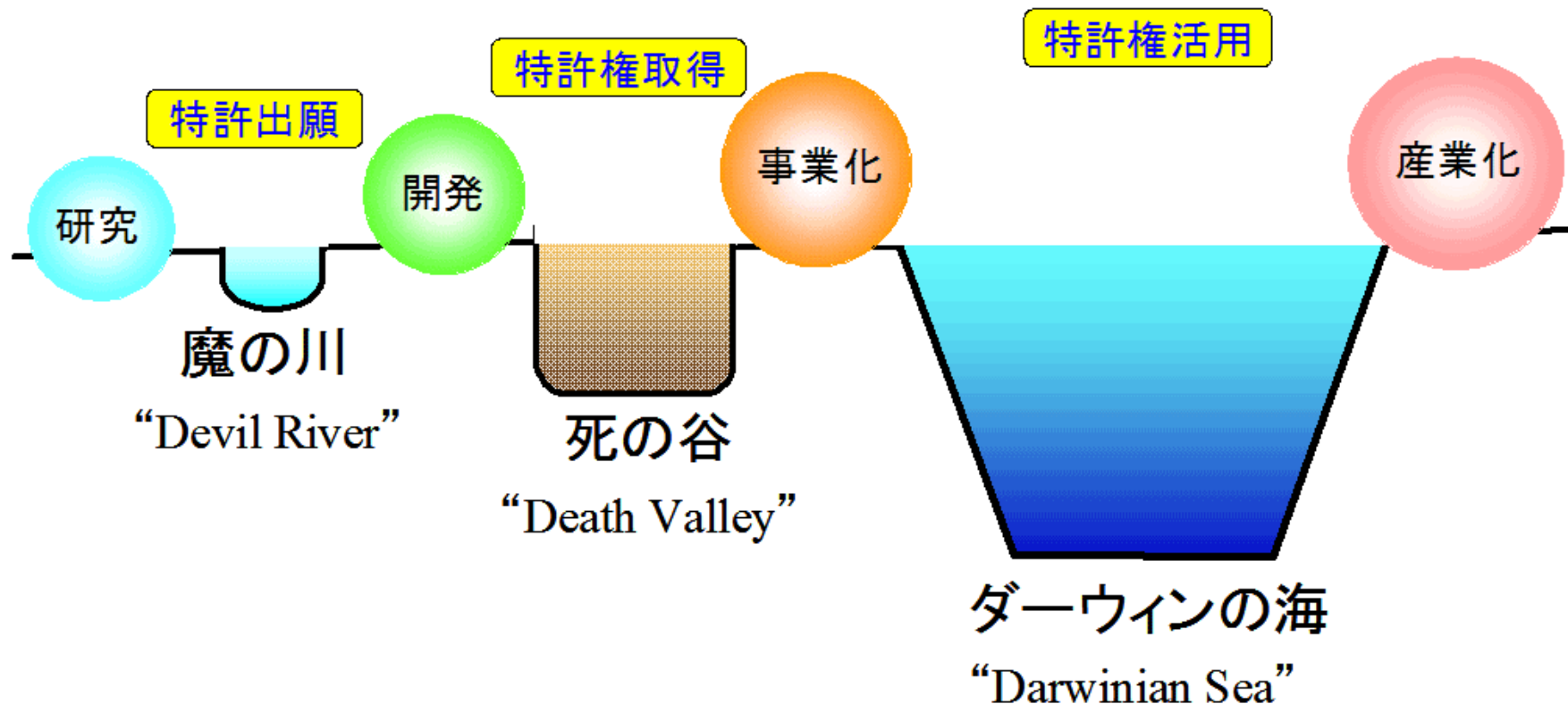
社会的課題

社会的課題

- 実用化・事業化
- 安全安心
- ELSI

研究開発から社会普及まで

魔の川 死の谷 ダーウィンの海



http://www.sangaku.nagoya-u.ac.jp/ipo/04_kiso/jittai.html

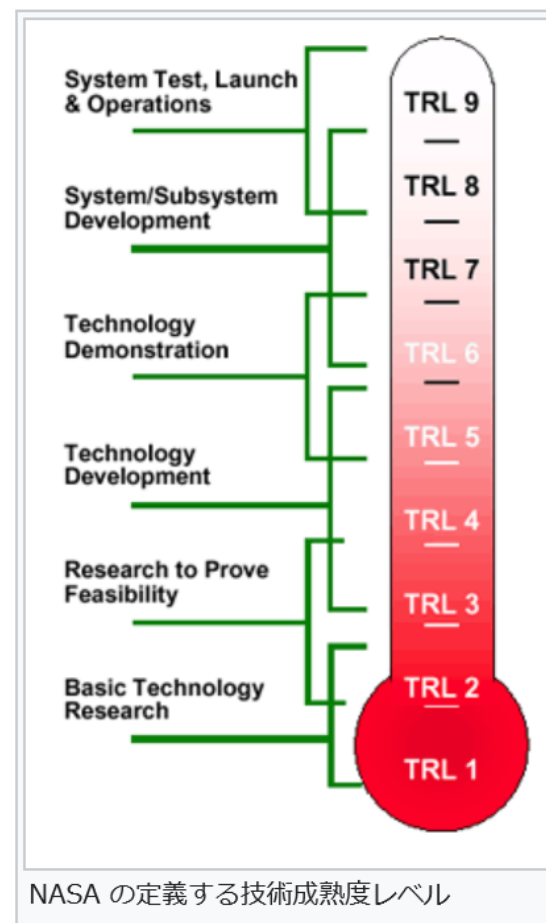
技術成熟度レベル

TRL: Technology readiness levels

(Wikipedia)

NASAによるTRLの定義

- Level 1 基礎理論の着想段階
- Level 2 技術要素の適応、応用範囲の明確化
- Level 3 技術実証のデモンストレーション(Proof of Concept)この段階から、実証試験等を行い検証を始めていく
- Level 4 ラボレベルでの実証
- Level 5 シミュレート及び実空間での実証
- Level 6 地上でのシステムとしての技術成立性の確認
- Level 7 宇宙空間でのシステムとしての技術成立性の確認
- Level 8 システムの運用テスト、認証試験
- Level 9 最終段階、実運用



社会的課題

- 実用化・事業化
- 安全安心
- ELSI

安全・安心とは

安全

もの：技術 ？

安心

人：心理

受容できないリスクがないこと
[ISO/IEC Guide 51:1999]

報告：工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用
(日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会)

受容するのは、人／社会

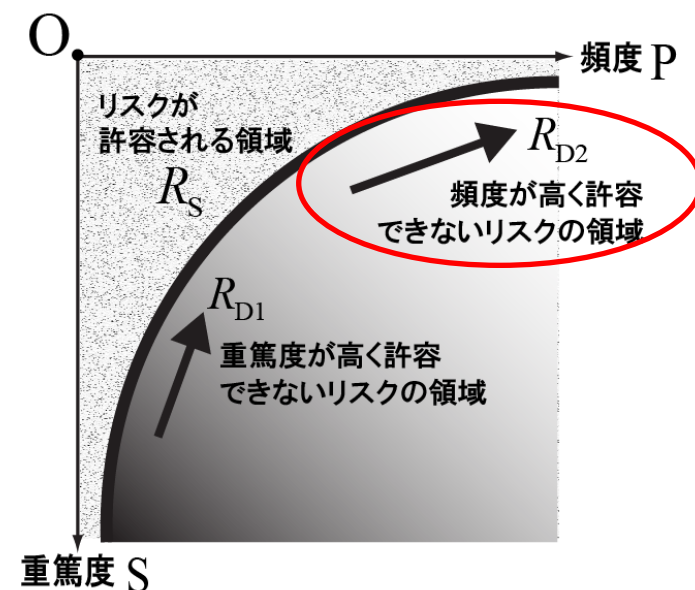
認知心理学／社会心理学的アプローチも重要

生活支援ロボット分野の安全研究

危害の重篤度 (Severity) とその危害が発生する確率と生じるかという頻度 (Probability)

リスクアセスメントを行う際に、人間と接触する可能性を常に想定しなければならないので、許容の可否の線引きが多くの種類の生活支援ロボットにおいて求められる。

生活支援ロボットの場合、危害の程度が小さいことが期待される。



生活支援ロボットの規格とガイドライン

山田陽滋: 生活支援ロボット分野の安全研究, 自動化推進, Vol.45, No.4 (2016), p.12

ALARPの考え方

As Low As Reasonably Practicable

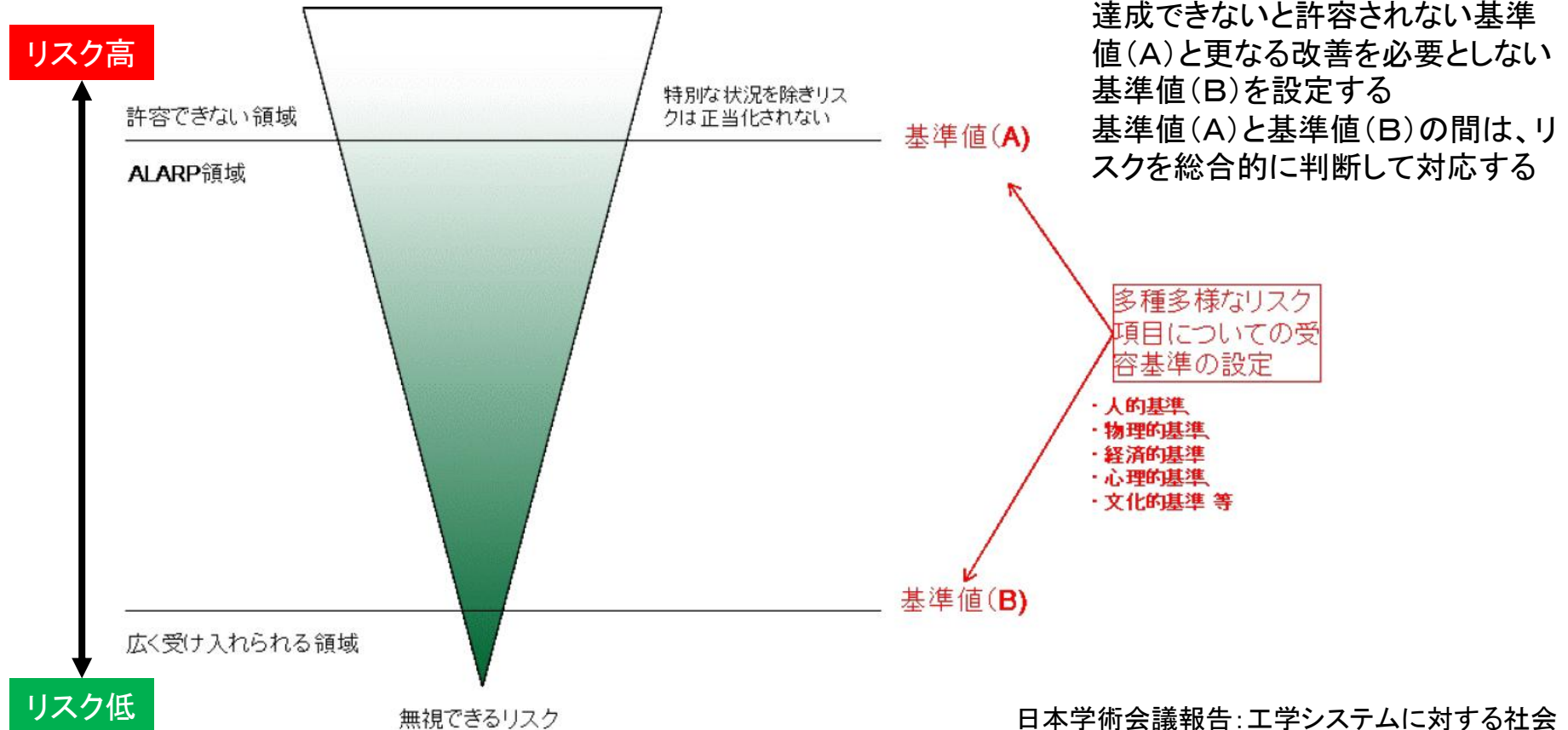


図1 安全目標の基本概念

日本学術会議報告：工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 2017

本質安全と機能安全

本質安全

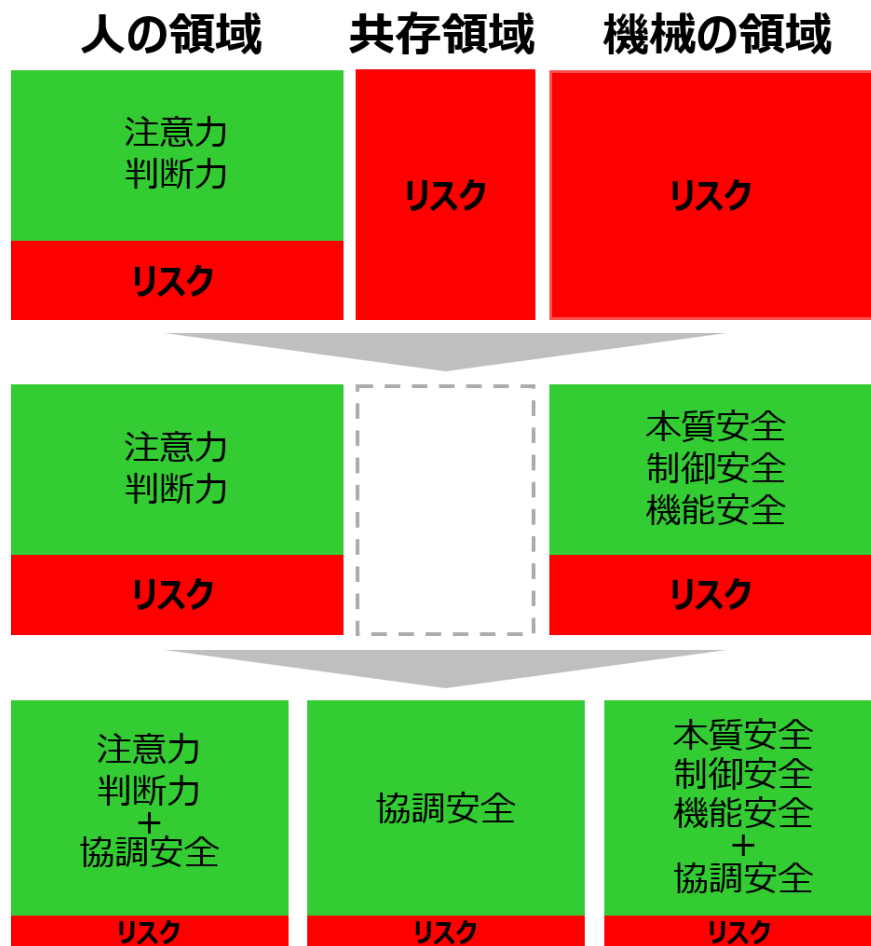
- 危険源そのものを排除し, リスクをゼロにする

機能安全

- 危険源の存在を認め, 機能による安全対策でリスクを許容できるレベルに抑える

Safety 2.0（協調安全）

人・モノ（機械）・環境が情報を共有し、お互いに連携・協調することで安全を確保する



Safety 0.0

人による安全

- ・人の領域にも**リスク**
- ・人と機械の共存領域は**リスク**
- ・機械の領域は**リスク**

Safety 1.0

人と機械それぞれによる安全

- ・人の領域にも**リスク**
- ・人と機械の共存領域を撤廃
- ・機械の領域にも**リスク**

Safety 2.0

人と機械の協調による安全

- ・人の領域の**リスク**を最小化
- ・人と機械の共存を可能に
- ・機械の領域の**リスク**を最小化

ELSI

(Ethical, Legal and Social Issues)

倫理

- セキュリティ
- プライバシー
- バイアス
- 人道的視点（デュアルユース，安全保障）
 - 自律型殺傷兵器（LAWS: Lethal Autonomous Weapon Systems）

ロボット倫理学Roboethics (Wikipedia)

- ロボット倫理学(ろぼっとりんりがく)とは、ロボットに関する倫理的問題を扱う、応用倫理学の一分野である。英語ではrobot ethicsまたはroboethicsと呼ばれる。「ロボット」という言葉で指される対象の範囲は明確ではないが、ロボット倫理学においては自律的機械の他にも、ドローンなどの遠隔操作される機械、いわゆる「ボット」のようなソフトウェアエージェント、パワードスーツなども議論の対象にされている。
- 現在、ロボット技術の高度な発展に伴い、医療ロボットや軍事ロボットのように人の生死に直接的に関わるロボット、家事ロボットやペットロボットのように一般市民の生活に密着したロボットが多く現れており、ロボットが人間や社会と関わる場面、そして与える影響は大きくなっている。こうした状況を背景にロボット倫理学は、ロボットとロボット工学に特有の倫理的な問題を扱う応用倫理学の一分野として誕生し、発展してきた。
- 最初にroboethicsという言葉を使ったのは、イタリアのロボット工学者ジャンマルコ・ヴェルジオ(Gianmarco Veruggio)である。彼は2000年にロボット工学と社会との関わりについて研究するためにScuola di Roboticaという協会を設立し、2002年に「ロボット倫理学Roboethics」という言葉を作り、その推進を提唱した。2004年には彼が議長となりイタリアのサンレモでロボット倫理学の最初の国際会議First International Symposium on Roboethicsが行われた。
- ロボット倫理学が扱う話題は戦争における無人機や自律型兵器の使用の是非、コンパニオンロボットが人間の心理や人間同士の関係に与える影響、ロボットによる情報の収集とプライバシーの問題などがある。特に戦争におけるロボット兵器の使用は、遠隔操作される無人爆撃機がアフガニスタンやイラクで使用され、多くの付帯的損害を生み出していることや、アメリカ・イスラエル・イギリス・韓国などがさらに人間の監督・操作を要しない自律的なロボット兵器の開発を進めていることもあり、多くの関心を引いている。

その他のロボット倫理に関する議論

- 日本工学アカデミー
 - 人と機械の共生社会のデザイン（リーダー：萩田紀博先生）
- 内閣府ムーンショット型研究開発制度
 - ELSI分科会（分野横断）
- 科研費新学術領域研究「人間機械共生社会を目指した対話知能システム学」（代表：石黒浩先生）
 - A04班人間機械社会規範研究グループ「対話知能システムの研究開発及び社会実装のための法社会規範の研究」

国際人道法とは (赤十字国際委員会)



1. ハーグ法(交戦の方法や手段を制限するもの)
2. ジュネーブ法(武力紛争の犠牲者の保護を目的としたもの)

4条約

- 戦地における傷者および病者(第一条約)
- 海上にある軍隊の傷者、病者および難船者(第二条約)
- 捕虜(第三条約)
- 戦時における文民(第四条約)

追加議定書

- 敵対行為に参加しないすべての人は、いかなる場合にも差別されず、人道的な待遇を受ける。
- 紛争当事者は、常に戦闘員と文民(民間人)を区別し、攻撃を軍事目標に限定し、文民とその財産を保護しなければならない。
- 投降し、敵対行為をやめた戦闘員は殺傷してはならない。
- 紛争当事者は、傷病者を収容、看護しなければならない。そのための医療要員、施設、機材等を保護する赤十字などの標章を尊重、保護する。
- 捕虜、被拘束者の生命、尊厳、人権の尊重と保護及び家族との通信、援助を受ける権利を保証する。
- 戦闘方法や武器の使用は無制限ではなく、不必要で過度な損害や殺傷をもたらす武器は使用してはならない。
- 公正な裁判を受ける権利及び拷問、体罰、残虐で人間性や尊厳を汚す扱いを受けない権利を保証する。

ロボット3原則

(アイザック・アシモフ)

第一条

ロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。

第二条

ロボットは人間にあたえられた命令に服従しなければならない。ただし、あたえられた命令が、第一条に反する場合は、この限りでない。

第三条

ロボットは、前掲第一条および第二条に反するおそれのないかぎり、自己をまもらなければならない。

『われはロボット』

セキュリティ基準の厳格さ

ロボット3原則＞国際人道法

法的課題

- 規制緩和, 特区
 - 規制強化(市場創出)
 - 認証(安全認証等)
 - 経済安全保障
-
- 製造者責任(PL法)
 - 責任ある研究とイノベーション (RRI: Responsible Research and Innovation)

サステナブルな ヒューマンセントリック次世代ものづくり (東大・工・人工物工学研究センター, トヨタ自動車)

現状

ノウハウ, 暗黙知, 経験知
の標準化

標準化では対応しきれない

ものづくりを取り巻く環境変化
・ 提供するモノ・サービス
・ ものづくり技術
・ 人の価値観の多様化・社会課題

労働者教育、働き方改革
を通じた職場改善

職場内のWell-being向上が不十分

将来

能力の拡張

Well-beingの向上

現状のやり方を変えて不確実
で広域・複雑な変化に対応

ポジティブ感情

Well-Beingを高める
メカニズムの研究

知識や技能の
デジタル化

暗黙知や経験値を知
恵にして、成長する
DX技術の研究

人中心の
ものづくり

人とロボットの協働

ロボット技術等による介入の研究

脳内認知・感情モデリング

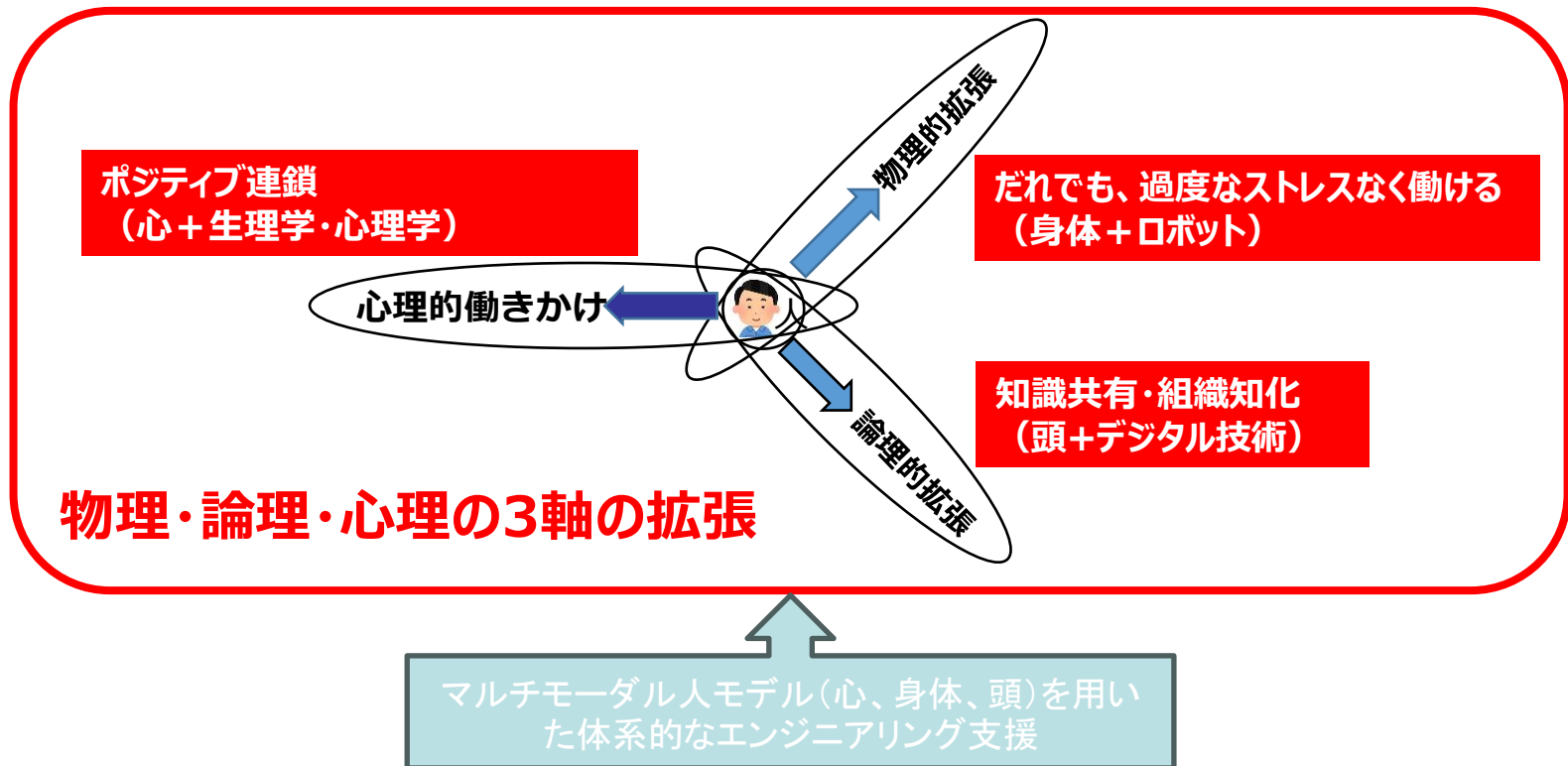
人の作業・行動時の脳内の
認知・感情のモデル化研究

Human Centric 2.0の
新ビジョン構築とその実現

従業員・現場目線のビジョンデザイン

新しい技術導入・活用を前提とした従業員・現場
目線の次世代ものづくりビジョンのデザイン研究

論理的・物理的拡張と心理的働きかけ



人間の不完全性

- 不完全・弱点・欠点（ヒューマンエラー，ミス）
- 生物としてのヒト
 - 欲望・本能
 - 社会性：協調と競争（攻撃・争い）
- 悪意（犯罪・殺人）
- 非合理的で矛盾した存在

人間を支え，補い，守るための科学技術

まとめ

- ロボットの社会実装の**将来**
 - 技術から予測⇔ありたい姿
 - ディストピア
- ロボットの社会実装の**課題**
 - 技術的課題・社会的課題
- サステイナブルなヒューマンセントリック次世代ものづくり