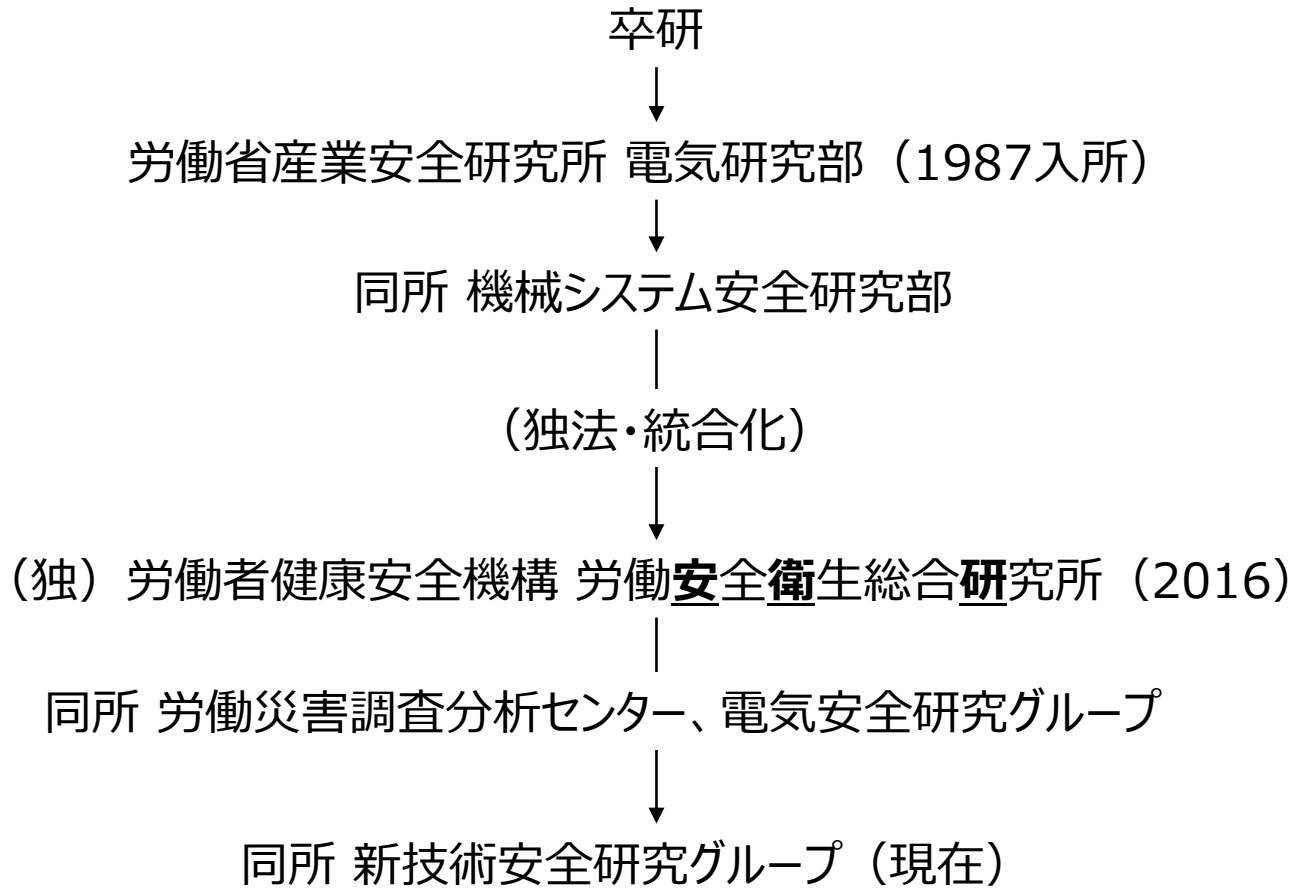


「安全研究に携わって 回顧と展望」

(独) 労働者健康安全機構
労働安全衛生総合研究所 (安衛研)
池田 博康

私の略歴



* ロボットを対象とした安全研究を中心に紹介

安衛研の役割と目的

事業場における災害の予防並びに労働者の健康の保持増進、職業性疾病の病因・診断・予防その他の職業性疾病に係る事項に関する総合的な調査及び研究を行うことにより、職場における労働者の安全及び健康の確保に資する。

災害調査報告 → 安全衛生関係法令の制・改定

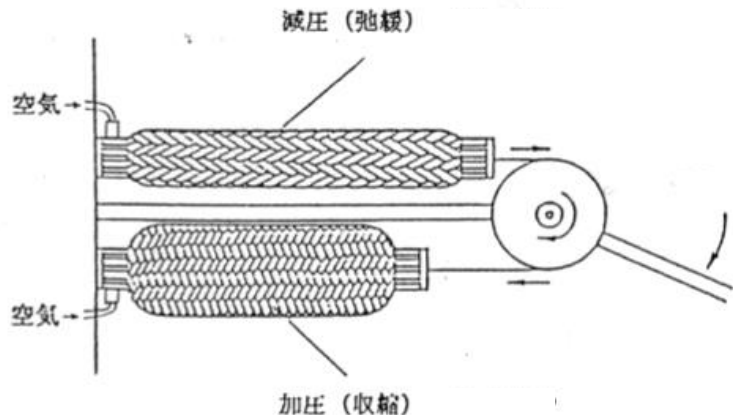
調査研究成果 → 厚労行政施策の立案・実施に科学技術的側面から支援

行政、事業所、学協会、研究・教育機関、災防関係機関等へ公表・発信

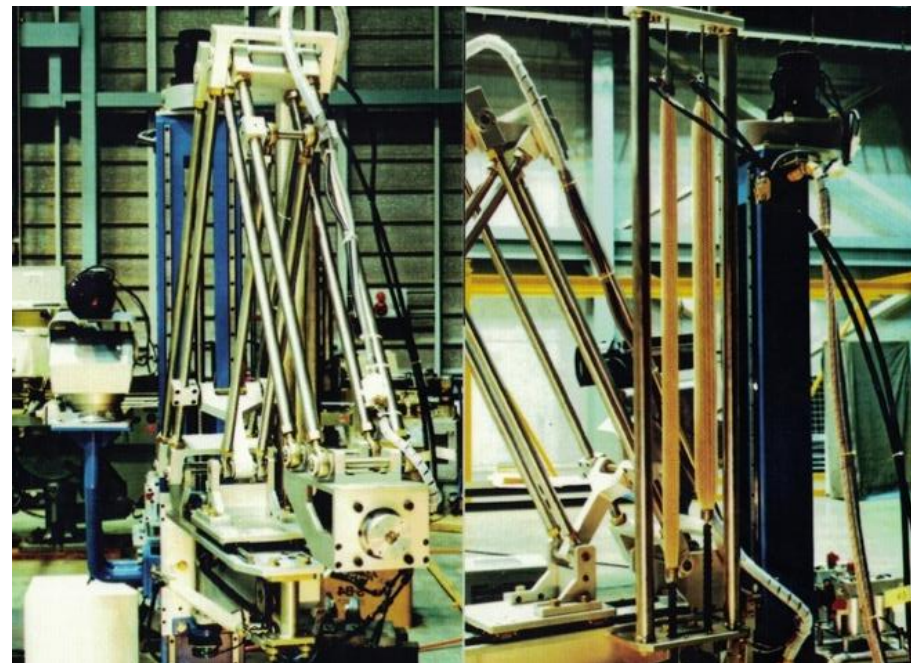
「柔らかさ」を持つロボットの探求

- 学生時代
産業安全研究所（現 安衛研）の杉本研究官（当時）の下で、空気圧駆動マニピュレータの研究

人工腕
(マッキベン式
アクチュエータ)



アナログ流量
制御弁



自動倉庫用荷崩れ修正ロボット

物理的（機械）コンプライアンスの制御を実現

順応性・柔らかさ → 「安全」のイメージ

仕事と安全の両立
人とロボットとの共存



その後、研究所での
研究課題に

産業用ロボットの死亡事故を受けて

- 当時の当研究所では
世界初の産業用ロボットによる死亡事故（1981）を受けて、産業用ロボットに関する安全規則・基準の策定に携わっていた。
- ➡ 労働安全衛生規則第36条第31,32号、第150,151条：通常運転中の措置、柵内作業時の措置（1983）
産業用ロボットの使用等の安全基準に関する技術上の指針（1983）
- ➡ JIS B 8433(1986) -----> ISO 10218: Manipulating industrial robots- Safety (1992)
- ➡ 「労働安全産業用ロボット」の低利融資制度 → 規則、基準に適合した産業用ロボットの普及

当研究所の産業用ロボットに関する活動

- 産業用ロボットによるヒヤリ・ハット事例調査 → 自動機械特有の問題点
- 産業用ロボットによる労働災害調査 → オートローダー事故、拘束アーム脱出、電磁ノイズ等
- 産業用ロボットに関する安全研究：インタロック、フェールセーフ

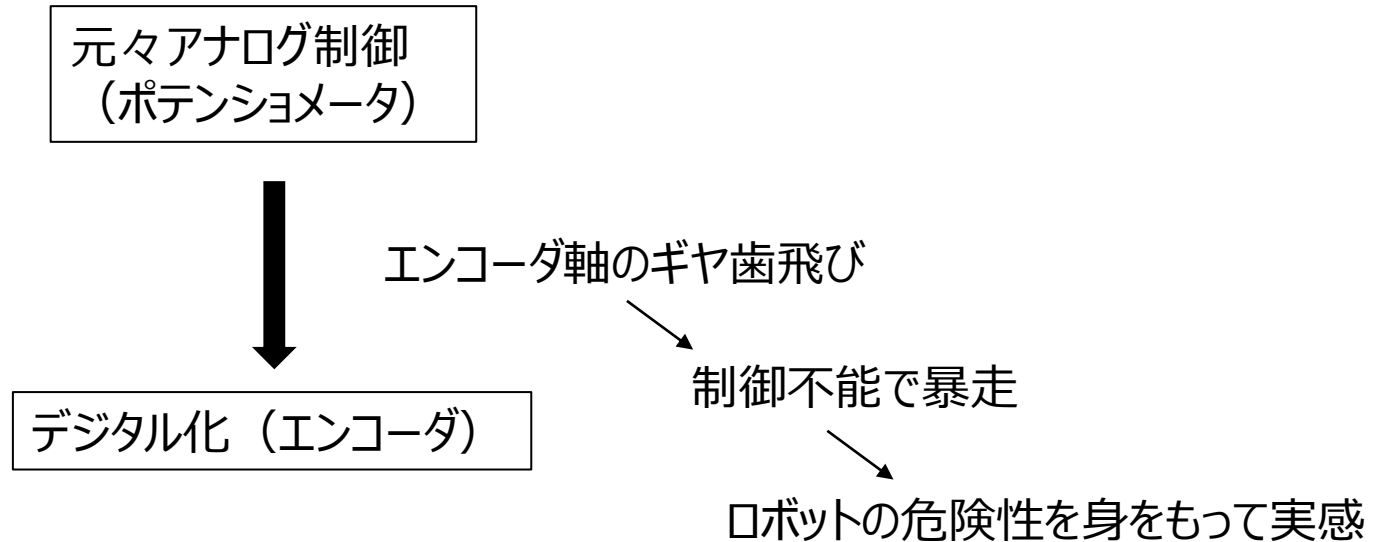
なるべく人に依存しない工学的対策を！

私が当研究所に就職したきっかけ（とされている）

- 譲渡された産業用ロボットを研究用に改造・再生しようとした



AMF製バーサトラン
(円筒座標型油圧ロボット)

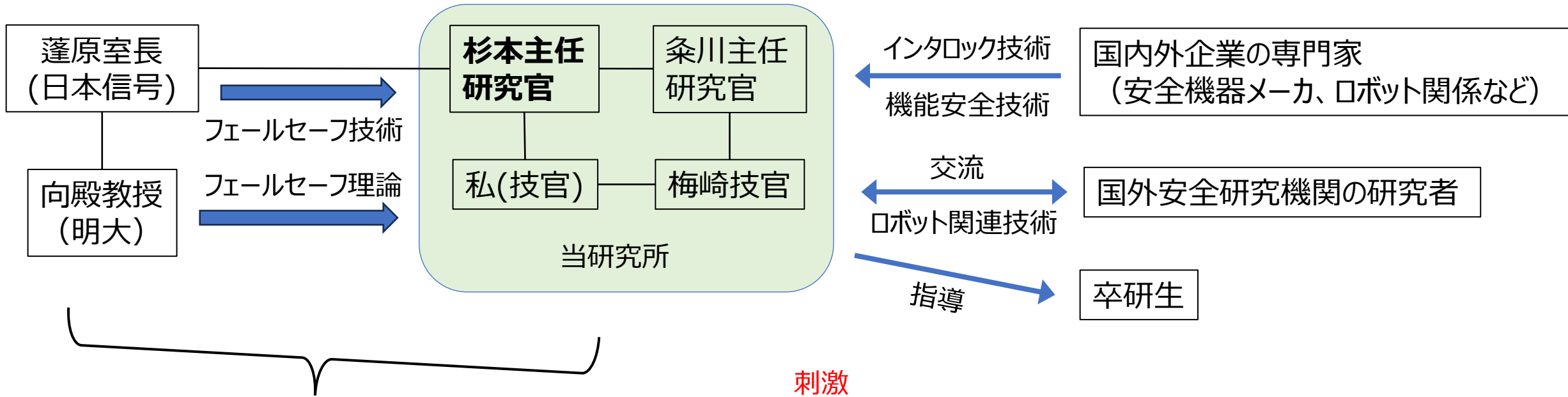


・ 当時は産業用ロボットの普及期

- 「柔らかくない」ロボットは実は仕事ができる！
- このようなロボットを安全に造るには？
- 安全に使うには？

➡ 研究の道へ

当研究所の研究者となって



重要論文

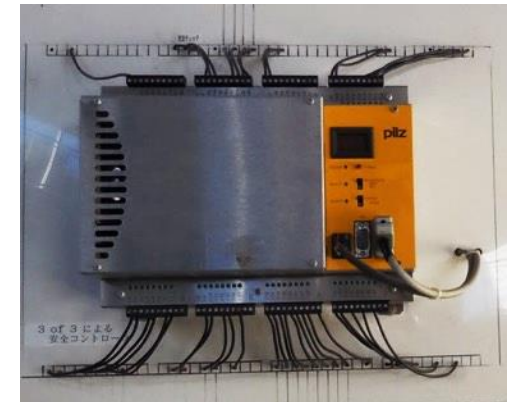
- 安全作業システムの原理とその論理的構造
- 安全確認型安全の基本構造

「ロボット安全」の土台となる！

刺激



安全機器メーカー（英）社長の息子が非常停止ボタンを叩くと・・・



安全機器メーカー（独）技術者とプレス機械制御システムを構築

当研究所のロボットに関する研究活動（その後）

1. 産業用ロボットに対する安全防護

- 可動部動作監視センサ
- シールドビームセンサ・FSWC
- シーソー作業システム
- 追従型搬送ロボット



教材として製作して、中災防教育センターや長岡技大講義で活用

2. 人間工学的観点の検討

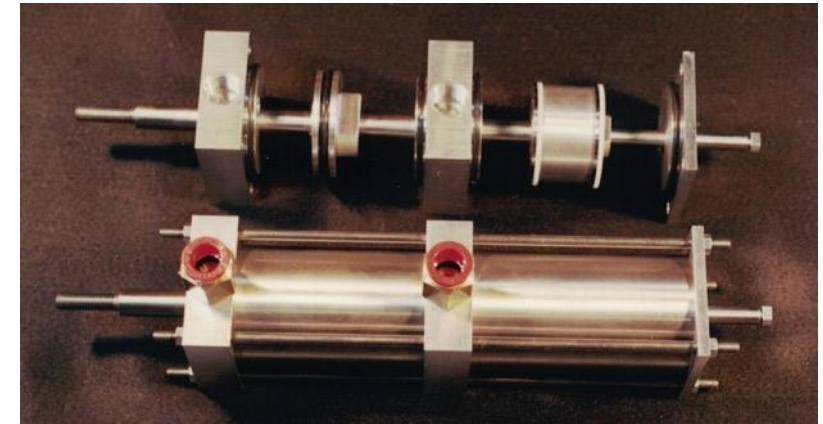
- 衝撃力評価
- 非常停止操作時間評価
- 人体挟圧限界評価
- 人体接触速度評価



90~200Gmax（安全限界35G）

3. 本質的安全化技術

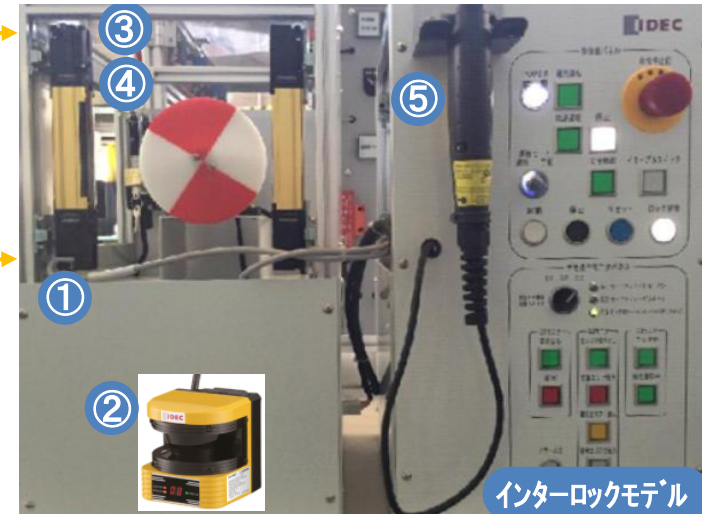
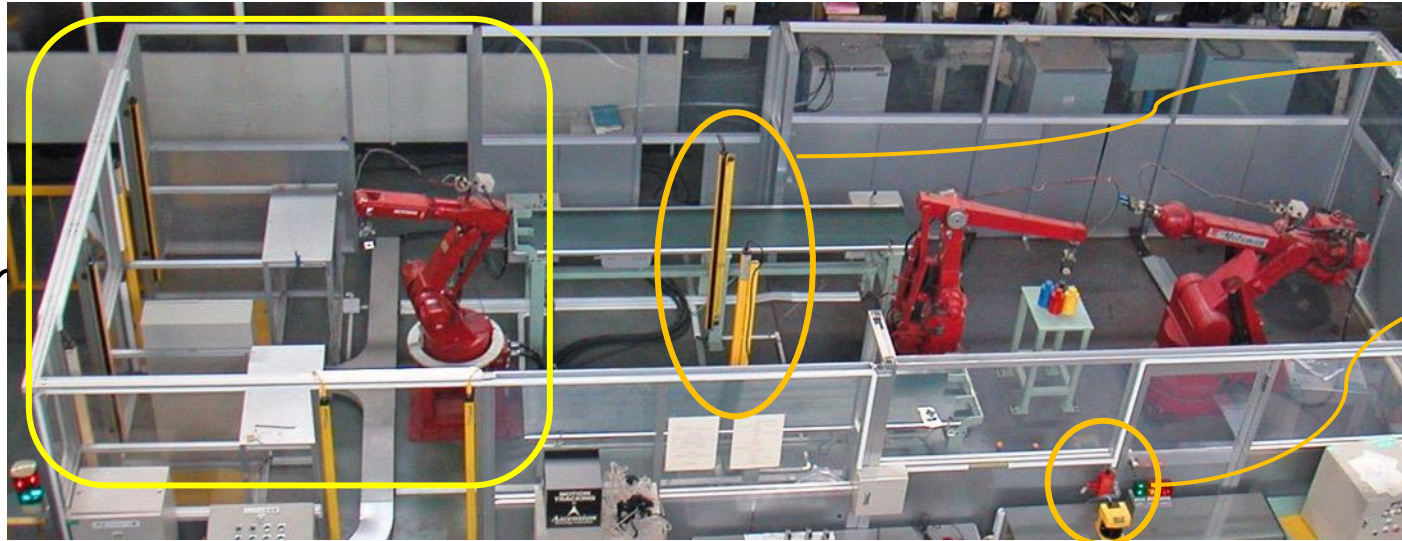
- ER流体を用いたダンパ
- 抑制制御
- MR流体を用いたクラッチ
- トルクインタロック型アクチュエータ



エアシリンダとERダンパを一体化したアクチュエータ

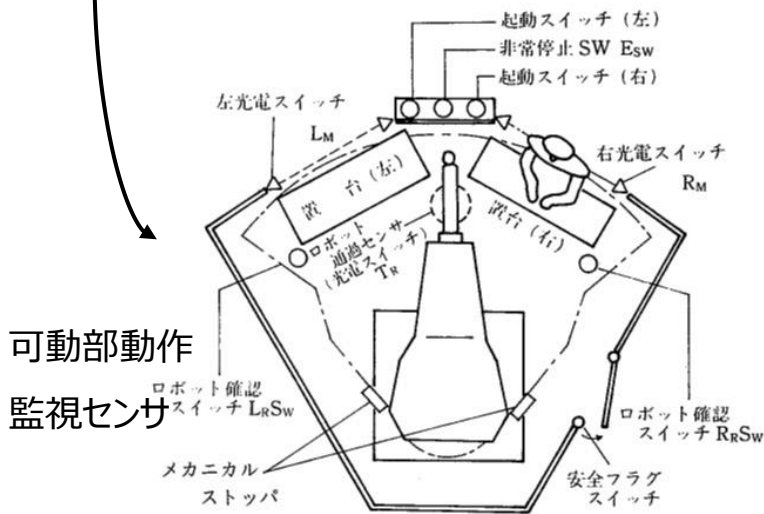
1. 産業用ロボットに対する安全防護

・ シーソー作業システム



インタロックデモ装置

各種保護装置の評価・検証
事業者への情報提供と啓蒙



協働作業モードの1形態

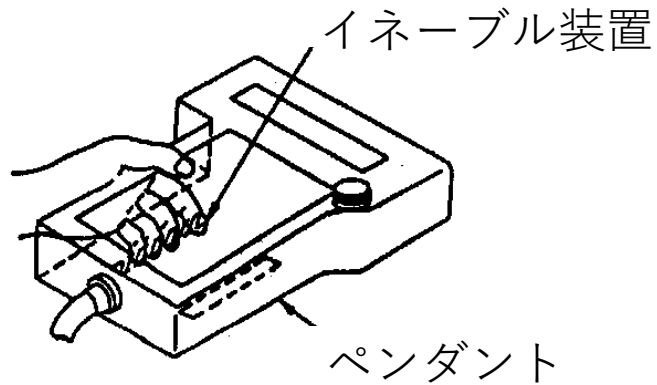
産業用ロボットに係る労働安全衛生規則第150条の4の施行通達の一部改正

「工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドライン」や「機械の包括的な安全基準に関する指針」等へ反映

安全PLC等の評価・活用 → 機能安全活用実践マニュアル

2. 人間工学的観点の検討

非常停止操作時間の計測

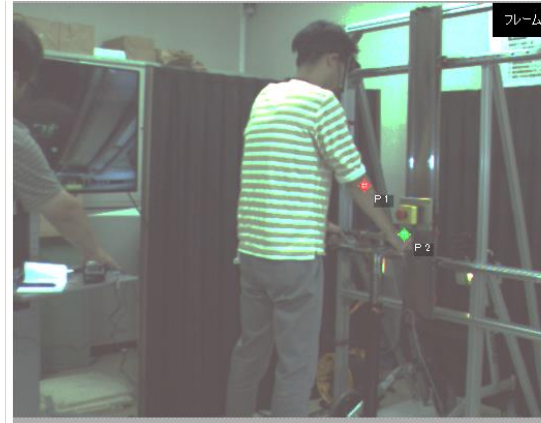


ロボット教示中に異常動作した時の停止操作時間を計測

↓
教示速度の目安：140mm/s以下を提言

↓
ISO10218では手動低減速度250mm/s以下
(但しホールド・トゥ・ラン停止が前提)

非常停止操作軌跡の計測

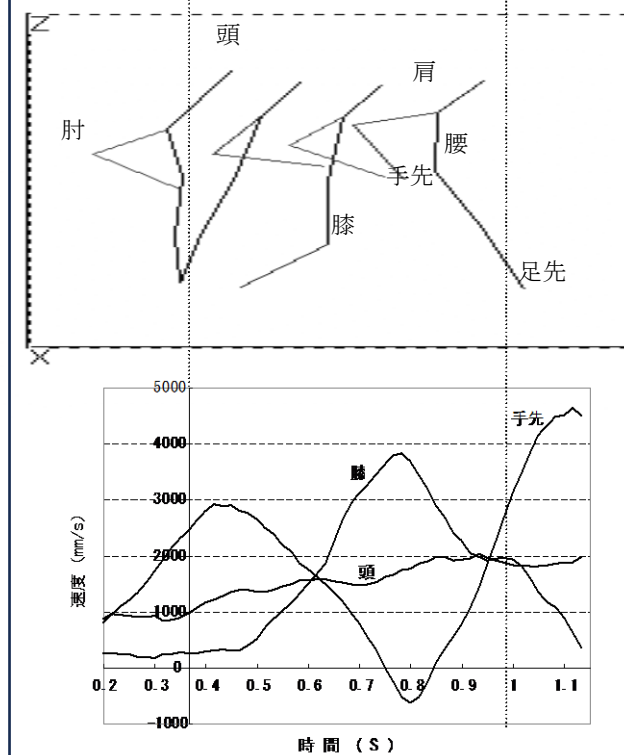


可動部（危険点）認識後の停止操作軌跡を計測

↓
認識後の動作遅延時間：平均0.53s

↓
非常停止装置の最適配置条件

人の回避速度の計測



回避動作時の動作姿勢と部位速度

* 可動部認識不可の時は、退避空間（目安：500mm以上）の確保→仮想制限領域(オーバーラン特性)

2. 人間工学的観点の検討

人体挟圧限界の推定

目的：本質的安全条件の解明（人間側パラメータによるリスクの定量化）
産ロボ80W規制、ガード150N制限の再検討
危害の程度 → 痛覚耐性（挟圧、衝撃）で評価



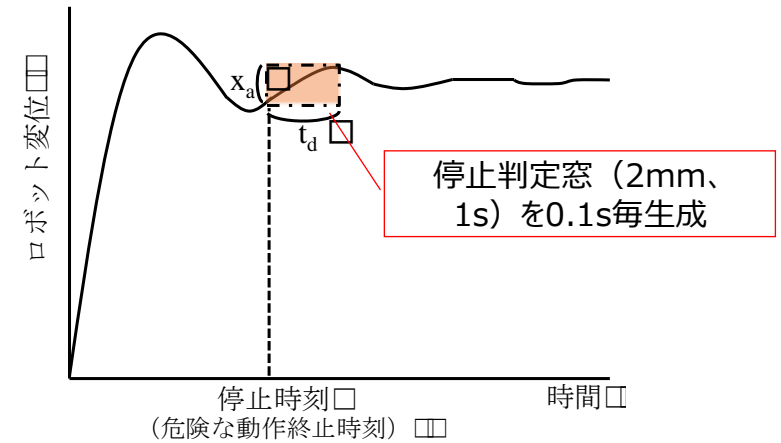
機械の一般原則へ

↑
ISO/TS 15066（協働
ロボット）に反映

↑
大規模計測
（マインツ大）

→
最小痛覚耐性値：57.7N（上腕中央部）
最小の許容最大変位量：1.9mm（額中央部）
（ただし、両者とも5パーセントイル値）

安全な停止条件の判定原理



完全停止を皮膚接触後の許容変位内変動で定義

人工上肢モデルによる骨折限界の推定



* 自動回転ドアの衝突危険性検証実験→JIS A 4721

3.本質的安全化技術の開発研究

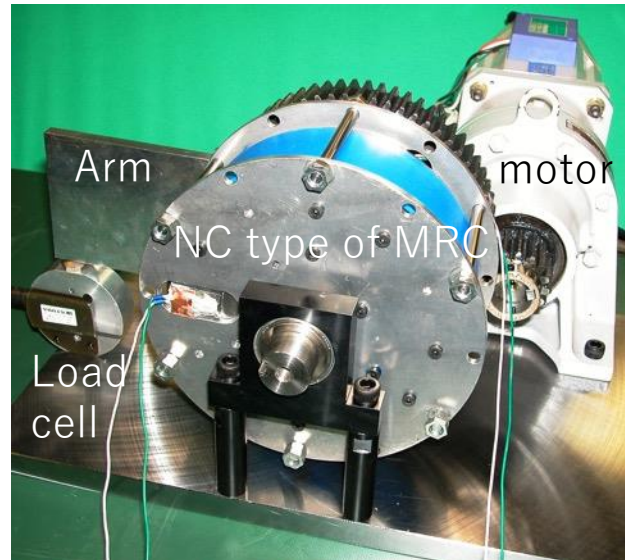
本質安全化アクチュエータの開発



双腕マニピュレータによるパネルの協働
ハンドリング

- ・ 電磁クラッチ・ブレーキによるサーボ
モータの抑制制御
- ・ 可変トルクリミッタ

⇒
アクチュエータ
構造の本質
安全化



MR（磁気粘性）流体を内蔵した
ノーマルクローズ型クラッチ

- ・ 永久磁石を利用したNC構造
- ・ 対向磁極の非対称配置
- ・ 多層化ロータ

→ 印加電流に応じて伝達トルクを
制御可能



マニピュレータの関節軸への適用

ロボット関節軸のトルク出力制限と
非常停止時の保持トルクを確保

近年のロボット関連研究

研究対象：産業用ロボット（協働ロボット）→ サービスロボット（生活支援ロボット、介護ロボット、リハビリロボット）

（過去の）災害再発防止から（将来の）災害未然防止へ

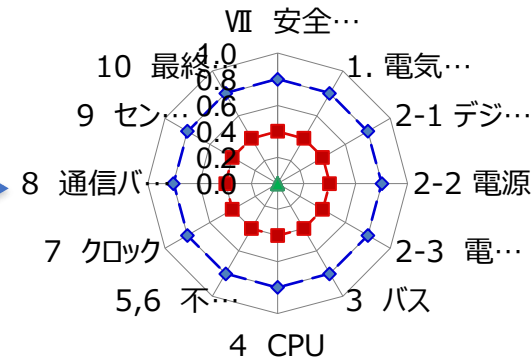
生活支援ロボットの安全検証手法の研究開発(NEDO)

自己チェックシート第1部
設計段階

自己チェックシート第2部
(ハードウェア)

自己チェックシート第3部
(ソフトウェア)

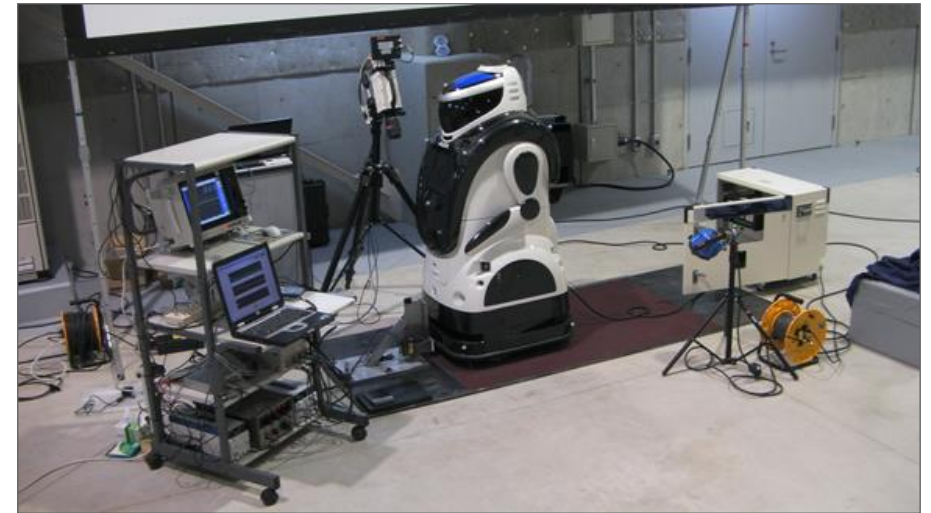
判定結果例



設計コンセプト自己チェックシート1~3部



ロボットの安全設計支援ツールとして提供（必須安全要件の確認や安全性能レベルの診断に利用）



緊急停止性能試験方法

各種安全性試験方法や安全性評価方法を提案
→ ISO 13482(Robots and robotic devices - Safety requirements for personal care robots)が制定

近年のロボット関連研究

ロボット介護機器開発・導入促進に係る安全基準の策定(AMED)

| 初期リスク分析結果 | | | リスク低減 保護方策(開発者による工学的手段) | 再リスク見積 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|---------------|----------------------------|--------|------------------------------|--------|---------|-----|---|--------|--------------|-------|-----------|-------------|------------------------------|--|---|
| 段階 | No. | 危険源 | | リスク点数R | 優先順位 | 危害の酷さS | 危害の発生確率 | | | リスク点数R | 保護方策組み合わせ時のR | | | | 備考(補足説明、参照規格類、保険等のその他の方策を記述) | | |
| | | | | | Ph | 頻度F | 確率Ps | 回避A | | 警告ラベル | 取説書への明記 | 訓練・管理 | 保護具他 | | | | |
| 脱着衣 | 6 | 前手すりへの肢衝突・挟まれ | 32 | 3 | 前手すり下方の下肢の存在検出用レーザーセンサの追加 | 2 | 7 | 2 | 2 | 3 | 14 | 4 | 警告ラベル貼付 | フットレスト使用時注意 | | | レーザーセンサは衝突防止、接触センサは挟まれ防止の防護階層(各センサの安全性能は別途検討) |
| | | | | 3 | 前手すりに接触センサ追加 | 1 | 6 | 2 | 1 | 3 | 6 | | | | | | |
| | | | | 4 | 可動手すりによる上体の保持・動作中にアラームとランプ表示 | 4 | 5 | 2 | 2 | 1 | 20 | | | | | | |
| 保守 | 25 | 間接接触による感電 | 18 | 3 | 漏電電流検出器による遮断 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 充電警告ラベル貼付 | 清掃手順の注意 | | | (絶縁故障発生時に充電部が解消される)検出器の安全性能は別途検討 |

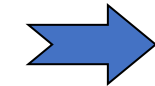
排泄動作支援機器のリスクアセスメントひな形シート例 (抜粋)



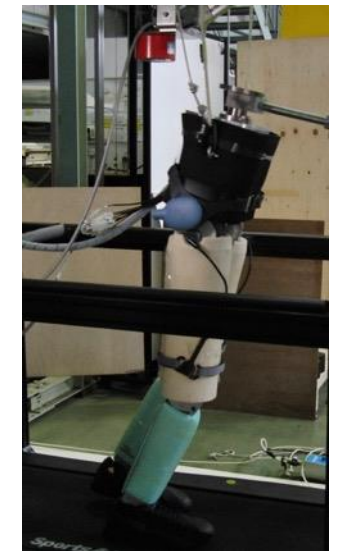
残留リスク対応を含めたリスクアセスメントシートのひな形を作成



包括的リスクアセスメント手法を提案 → ガイドブック



歩行ダミーによる転倒過程の再現



転倒予兆検知手段の試験方法と安全判断基準の提案

その他、危険性通知手段の試験方法と安全判断基準の提案

近年のロボット関連研究

せき損等の職業性外傷の予防と生活支援に関する総合的研究(リハビリテーションセンタとの協働研究)

目的：脊損被災者の生活・就労支援のため、歩行リハビリ技術や機器の開発推進
(厚労省第13次労働災害防止計画の重点施策の一つ)

災害事後段階

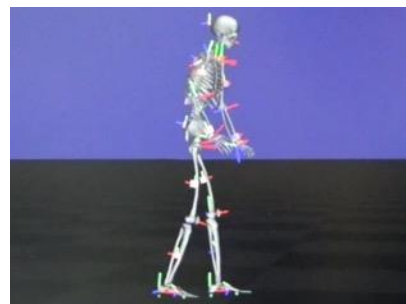
歩行リハビリの行動分析及びリスクアセスメント



「安全チェックリスト」を作成

(歩行支援機器を用いる介助者のための装着・介助手順及び留意事項等を記載)

* 残留リスクの多い機器に対する安全確保(運用)が重要!



脊髄損傷者用歩行支援機器のプロトタイプ開発



モーションセンサ



杖埋込型操作デバイス



プロトタイプの外観



制御ユニット (PLC)



アクチュエータ



調整用ソフトウェア
(タブレットPC使用)

既存機器の問題点を解消し、機器装着者と介助者の安全な運用を目指す(継続予定)

これからのロボット関連研究

新技術安全研究グループの取り組み

AI、IoT、協働ロボット、自動管理など新技術が原因となって発生する労働災害（**新技術の導入による負の側面**）の防止と、新たな機能をもつ保護装置やリスク低減方策が開発されることによる現場の安全性の向上（**新技術の導入による正の側面**）の両面から調査研究を進める。



自律走行ロボットを用いた協働作業システム（構築中）

研究課題

- 1) 走行とマニピュレーションの同時動作条件の解明
- 2) 自律走行モードでの衝撃力測定
（本質的安全設計条件の明確化と試験標準化）
- 3) 衝突防止方策の基本設計原則の提案
（階層選択の優先など）

その他、協働ロボットの高速度化や、AI協働ロボットの利用について、慎重に監視する必要がある。

おわりに（所感）

- 研究所内外の安全研究の先駆者や専門家に囲まれて、恵まれた環境下で充実した研究を行うことができた。
- 新人時代にレベルの高い話や技術に触れることができ、大いに刺激を受けるとともに、悩みながらも身につけることができた。
- ロボットを中心とした研究活動であったが、機械安全の基本を土台として考えることは大変有意義であった。
- 行政ミッション型の研究所として災害調査などの貴重な経験を積むことができ、安全確保の重要性を認識できた。
- 研究業務以外にも、行政施策の支援、規則や基準改制定、大学等での講義、学協会活動などに関わることができ、見識を広げることができた。
- 最後に、向殿安全賞を受賞することができたことに、心から感謝とお礼を申し上げます。