

# サービス・介護分野で人と協働 するロボットの安全評価

(独)労働安全衛生総合研究所

機械システム安全研究グループ

池田博康

# ロボットと人との共存形態の推移

産業用ロボット  
(柵あり、一部共存)



シーソー作業用ロボット  
(安衛研)



産業用ロボット(柵なし、協働運転)



施工作業用ロボット  
(安衛研)

重量物の協働運搬

ハンドガイドなど



サービス・介護ロボット  
(人が対象)

パワードスーツ  
(身体アシストスーツ)

非装着型移乗介助

歩行支援

入浴・排泄介助など

\* 協働: ロボットと人が協力する作業

# 規格と規則に見るロボットの協働運転条件

1) ISO 10218-1,2:2011 (JIS B8433-1,2:2015) - 産業用ロボットの安全要求事項

- 力、動力の抑制(本質的または安全適合の制御) → 以前の目安は150N(80W)
- 速度と距離の監視(安全適合)
- 停止監視(安全適合)

現行版では  
削除

2) 労働安全衛生規則

- ◇ 定格出力80W以下 → 従来通り(本質的安全条件に相当)
- ◇ リスクアセスメントにより危険の恐れがないと評価できる、  
もしくは上記ISOの安全要求事項を満足する → 基発1224第2号による第150条  
の4の施行通達の一部改正



ただし、技術ファイル(リスクアセスメント結果を含む)、適合宣言書が必要

\* 国際規格、安衛則ともにリスクアセスメント(特に、ロボットによる人体の挟まれや激突により想定される怪我の程度の見積もり)が重要



アクチュエータの力出力や動力の制限目安値に代わって、別の規格案(ISO/TS 15066: 審議中) で人体への直接作用力(応力)や衝撃(速度)の限界値を採用

# サービスロボットの現状と課題

- ・業務用清掃ロボットや搬送ロボットが事業化
- ・家庭用掃除ロボットが世界で400万台以上が販売
- ・手術支援ロボット、介護ロボットが販売

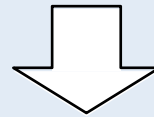


徐々に実用化  
事業化は限定的

- ・生活支援ロボットの安全規格や試験制度等が未整備
- ・生活支援ロボットの対人安全技術が未確立

- ① サービスロボットの国際的な安全規格が未整備
- ② 規格適合のための試験機関が未整備
- ③ 規格適合を認証する認証機関が未整備

~5年前



安全規格、安全性試験技術、安全性認証技術の開発  
ロボットの対人安全技術の開発 → 国プロの必要性

# 生活支援ロボット実用化プロジェクト概要

## <目的>

- (1) 生活支援ロボットの対人安全性基準、試験方法及び認証手法の確立
- (2) 安全技術を搭載した生活支援ロボットの開発
- (3) 安全性基準の国際標準化提案、試験機関、認証機関の整備

期間 : H21年～H25年(5年間)

## <プロジェクト体制>

生活支援ロボットの  
安全性検証手法の研究開発

- 対人安全性基準の確立
- 安全性基準に関する 適合性評価  
手法の研究開発



リスク  
アセスメント  
安全性試験  
適合性評価

安全技術を導入した  
生活支援ロボットの開発  
(移動作業型、人間装着型、搭乗型)

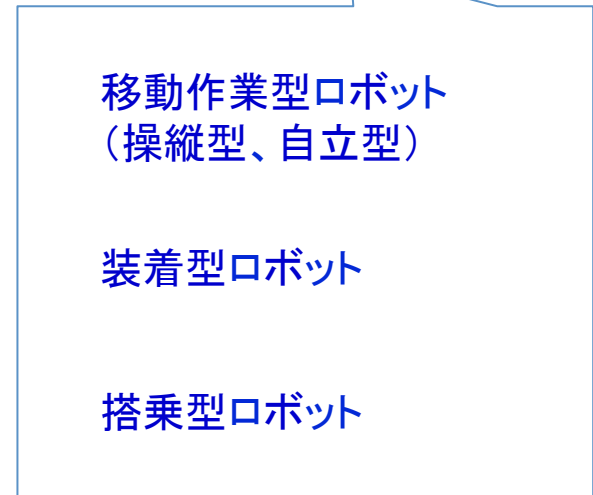
- ロボットの安全技術の開発
- ロボットの安全性検証



国際標準化

ISO13482 (パーソナルケアロボットに関する安全要求事項)の制定  
(TC184/SC2/WG7)

※本プロジェクト成果を国内審議団体を通じて提案



# 安全検証手法の研究開発項目

## 安全設計支援ツールの研究開発

- 設計コンセプト自己チェックシート
- リスクアセスメントひな形シート
- 機能安全設計支援ツール
- 事故シミュレーションツール

事前安全評価

\* 今回は  の項目の概要を紹介

## 安全性検証試験方法の研究開発

### 1. 人体への危険に関する試験

感電試験

騒音試験

表面温度試験

衝突安全性試験

挟圧安全性試験

接触安全性試験

### 2. 耐久性に関する試験

温湿度及び振動環境耐久試験

走行耐久性試験

耐荷重試験

耐衝撃試験

### 3. 安定性に関する試験

静的安定性試験

動的安定性試験

### 4. 安全関連機能の検証試験

安全関連光学センサの機能試験

障害物検知対応性能試験

操作・情報提示機能検証試験

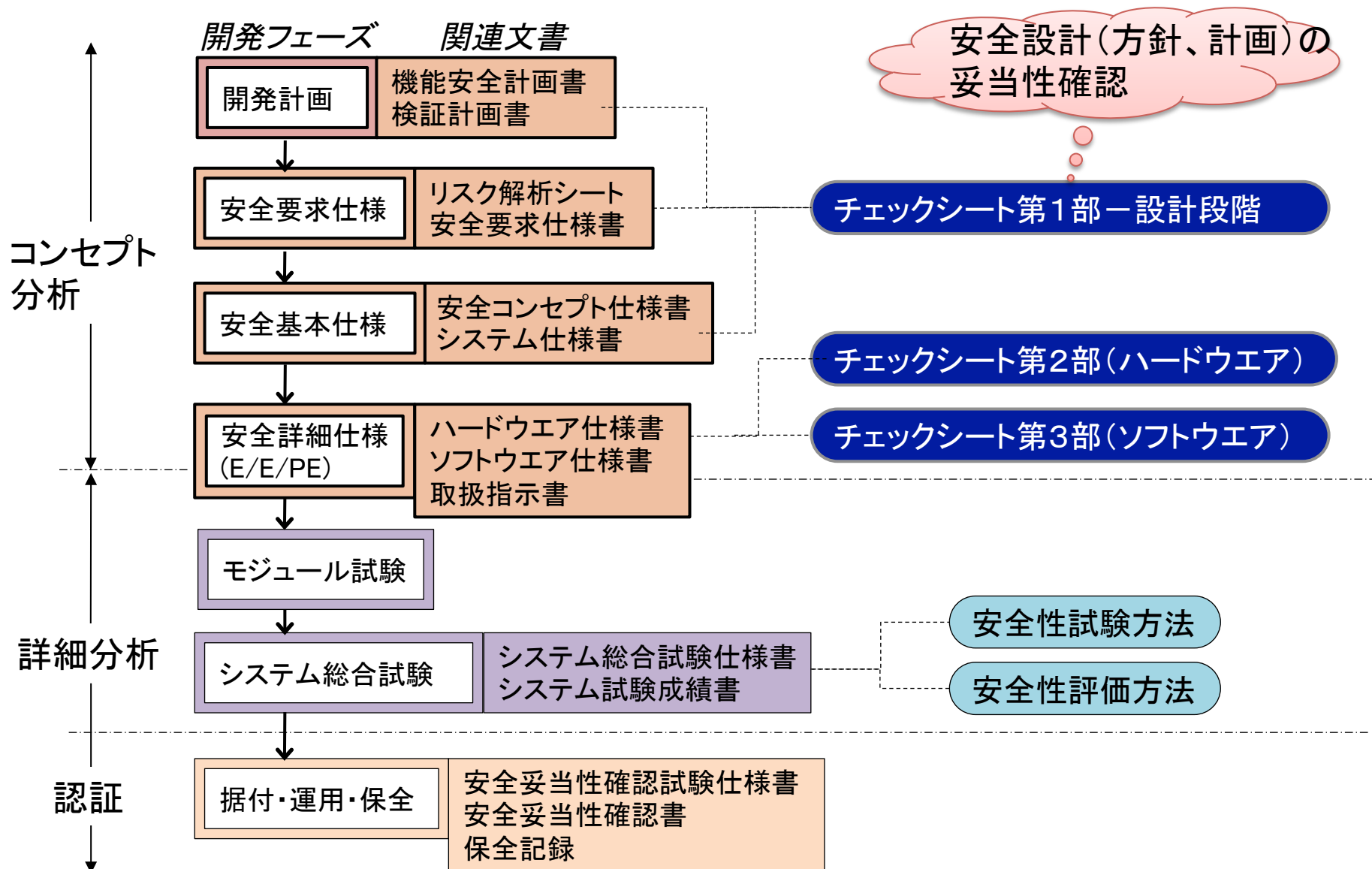
EMC試験

故障注入試験

製造後の安全妥当性評価

# 安全設計コンセプトの自己チェックシート

## (1) 機能安全設計のフェーズ/関連文書とチェックシート



# 安全設計コンセプトの自己チェックシート

## (2) チェックシートの目的と概要

**目的:** ロボットの設計・開発段階で、機能安全計画書、安全コンセプト・システム・安全要求仕様書、HW・SW仕様書を作成する場合の必要事項を自己チェックする

**位置付け:** 安全コンセプト認証を念頭においたコンセプト分析内容と必要文書の確認、及び機能安全規格(IEC61508)による安全度水準SIL2,3を満足するHW・SW構築

**概要:** 大項目下の設問毎にその達成度(満足度)を3段階で自己チェック(記入)すると、設問毎に設定された配点に従って自動的に得点が入る。大項目毎に得点集計され、その達成度をレーダーチャートにより判断する。

### Ⅲ. リスク低減

No	項目	主旨	設問	チェック	点数	備考 (補足説明又は 該当文書、関連 文書の番号)	得点
9	リスク 低減手 法	リスク低減 の方法につ いて準拠し ている規 格・基準の 確認	1 リスク低減はJIS B9700-1 (ISO12100-1)の3ステップ 方式に従って実施している。	A	3		3
			2 他の規格(社内基準も含 む)を参照している。規格名 を備考に記載するか、別紙 で示してその文書番号を記 載してください。	N	1		

A, B, C, N

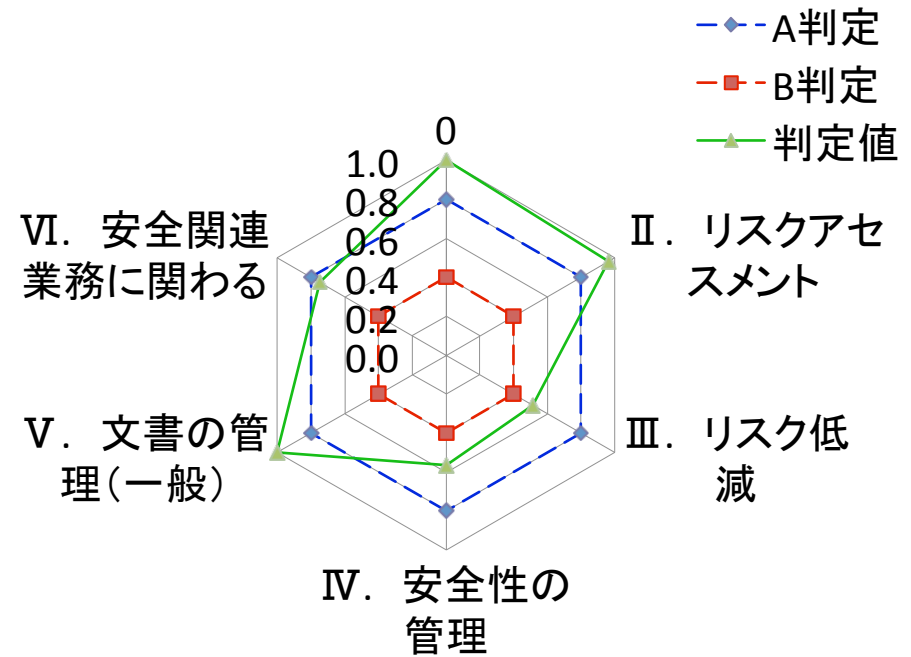
(重み付けされた点数)  
×  
(チェック記号に対応する割合)



# 安全設計コンセプトの自己チェックシート

## (3) チェックシート第1部の主要チェック項目と結果例

No	大項目	主要な小項目	趣旨(抜粋)
I	安全確保方針	安全設計方針、人とロボットの役割	安全に配慮した設計準備の確認
II	リスクアセスメント	使用環境・条件の設定、実施体制、再リスク評価	想定使用条件の確認、リスク軽減、再リスク評価の確認
III	リスク低減	本質的安全化、保護装置(停止、制御、人体検出)、機能安全の導入、付加保護方策、残留リスク対応、管理	設計図面上の危険源抑制の確認、保護方策とその機能の確認、ユーザへの使用上の情報提供の確認
IV	安全性の管理	組織の校正・運営、責任体制、文書化、管理、監督	組織・要員の位置付けと責任の明確化、業務・情報管理確認
V	文書管理	一般文書作成管理計画	全ての文書共通の基本要件の確認
VI	安全関連業務の文書	必要情報、安全要求の計画書・仕様書、HW/SWの試験の計画書・仕様書	情報の文書化の確認、必要文書の確認

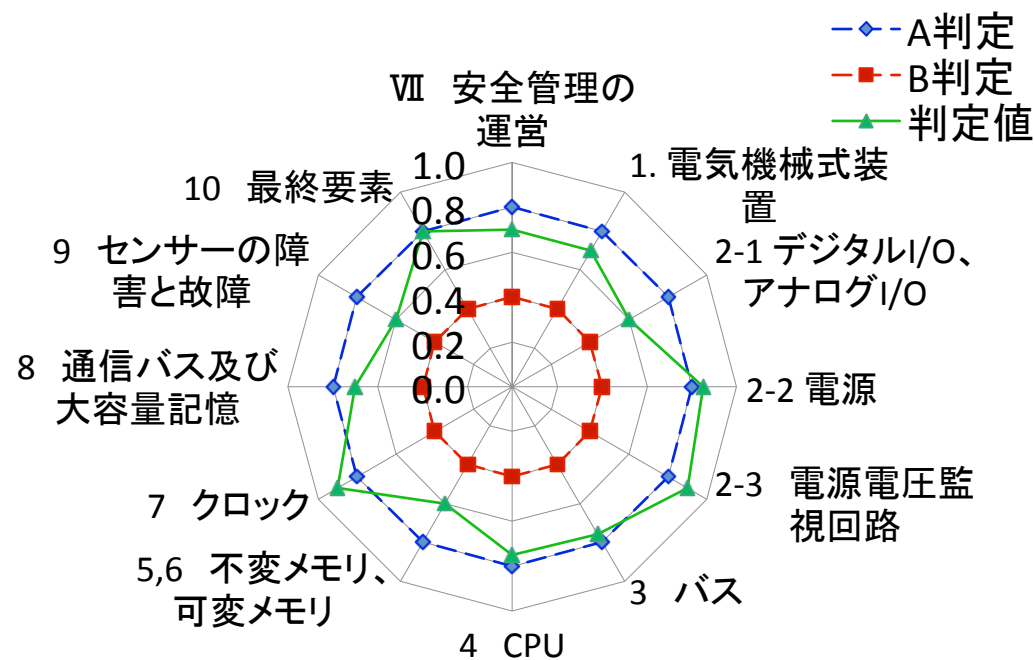


(6分野で計59設問)

# 安全設計コンセプトの自己チェックシート

## (4) チェックシート第2部(HW編)の概要と結果例

- ◆ 主にIEC61508(特に第2部)に従って、安全関連部(制御関連システム)の安全要求事項を設定
- ◆ チェック項目は安全度水準SIL3(または安全性能レベルPLe)を原則設定  
→ 目標性能はリスクアセスメント結果による
- ◆ ハードウェアのランダム故障に対するフォールトトレランス0~1、安全側故障率比SFF90%以上(または診断範囲DC中以上)を想定
- ◆ IEC61508-2附属書表A.1に記載のハードウェア障害/故障に対する処置(要求事項)を確認



# 安全設計コンセプトの自己チェックシート

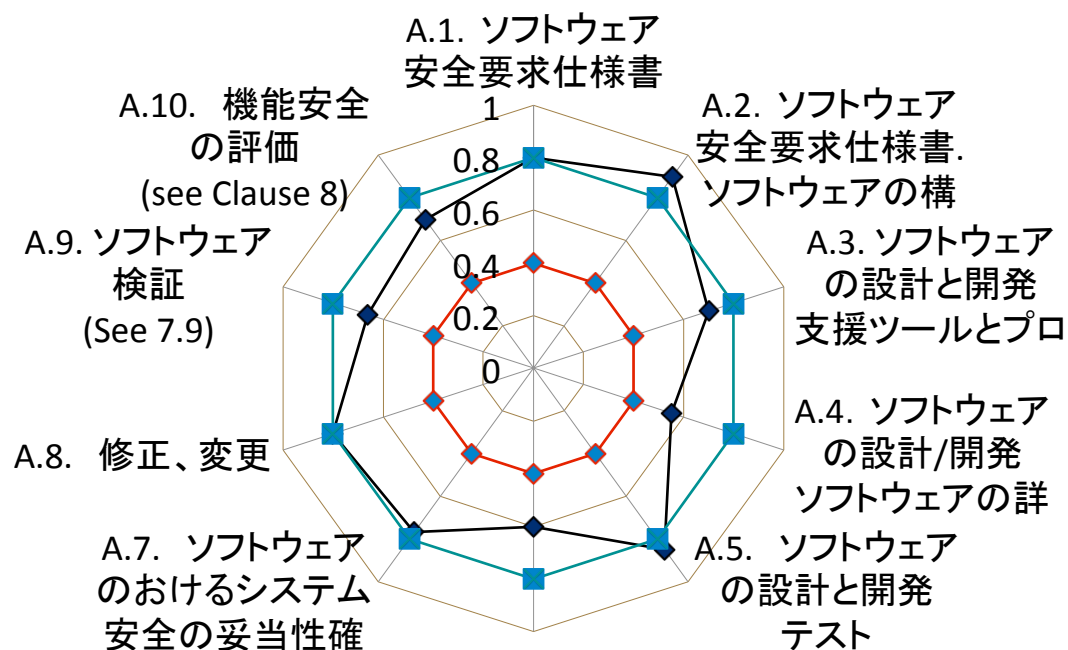
## (5) チェックシート第3部 (SW編) の概要と結果例

- ◆ 主にIEC61508(特に第3部)に従って、安全関連部(制御関連システム)のソフトウェアに関する安全要件として、SIL2または3でHR(強く推奨)とされる技法/方策を設定(IEC61508-6参照)
- ◆ 最初に目標SILを選択すると、選択したSILに応じて配点が変わり、その列のみチェックが有効

A.9. ソフトウェア検証  
(See 7.9)

No	項目	主旨	設問	チェック		配点
				SIL 2	SIL 3	
1	ソフトウェアの検証	静的な解析	1 境界値付近の変数の解析			
			1 データフロー解析			
			イ 変数は値が割り付けられる前に読まれているか			
			ロ 変数は読み出される前に一回以上書かれていないか。			
			ハ 変数は読み出されずに書き込まれていないか。			
			ニ データフローに曖昧、未定義なところ、は無いか。			

(シート抜粋)



# リスクアセスメントひな形シート

## (1) ひな形シートの目的と構成

ロボット機器の安全設計の支援のため

設計者の事前安全評価

→ 安全仕様(安全方策の選定、安全性能の決定)

## シート構成: 表紙、初期分析・評価シート、方策後再分析シート、基本仕様

サービスロボット(車いす型ロボット)のリスクアセスメントシート表紙(案)

対象ロボット名称	実施者	実施日																																																																																														
車いす型ロボット	(担当者の氏名) 担当者、チーム参加者、リーダー、承認者等	初期 第1回査定:																																																																																														
ライフサイクル段階	設定、運転、保守	分析方法(ツール) 積算法(一部加算法を適用)																																																																																														
製造した使用	<p>①ロボットは稼働した特定操作者の片手離脱により動作する(少なくとも片腕と視力の機能は正常の人が対象) ②施設内特定通路内のみ、ロボットは自動的に自律走行に切り替わる(機能は停止以外無効) ③ロボットのバッテリー充電/交換/保守等は、訓練された成人(介護者/メカ専員)のみ行う ④ロボットの稼働者は、ヘッド/ハンドル等への移乗を自力又は補助により行う ⑤ロボット稼働者は運転中身体を拘束されない。</p>	<p>リスクの見積・評価基準 算出式: リスク点数(R) = 危害の酷さ(S) × 危害の発生確率(P%)</p> <p>判定基準: 3 ≤ R ≤ 6 十分にリスクを減らす(リスク低減は不要) 7 ≤ R ≤ 14 低い〜中程度の条件付き受容/検討を要する(リスク低減を推奨) 15 ≤ R ≤ 44 高い受容できない(リスク低減が必要)</p>																																																																																														
使用上の制限	<p>①ロボット走行中に、第三者(介護者)がジョイスティックに触れる。 ②ロボット有線の第三者に気付かず後退させる。 ③第三者が特定稼働者に成り代わって、ロボット稼働を行う。 ④ロボットを走行経路外へ移動してしまう。 ⑤自律走行経路上に物を落とす、他の障害物が存在している。 ⑥エレベーター稼働時に時間がかかり、ドアに挟まれる。 ⑦ロボットへ移乗時の意図せず完全な非正常稼働/自律移動する。 ⑧稼働中に身体の一部がジョイスティックに触れる。</p>	<p>危険の酷さ(S)</p> <table border="1"> <tr><td>4</td><td>重大障害(長期治療)</td></tr> <tr><td>3</td><td>医療措置(短期回復)</td></tr> <tr><td>2</td><td>応急手当てで済む</td></tr> <tr><td>1</td><td>無傷/一時的な痛み</td></tr> </table> <p>注: 酷さの程度とは、一般的にロボットと人の接触する程度をいふ。 酷さの程度は、ロボットのアクティブ状態(送電時)に対して異なる。</p> <p>危害の発生確率(P%) = P<sub>1</sub> + P<sub>2</sub> + P<sub>3</sub> + A</p> <table border="1"> <tr><td>4</td><td>連続的/常時</td><td>4</td><td>高い(起こりやすい)</td><td>回避可能性(A)</td></tr> <tr><td>3</td><td>動作中頻発/長時間</td><td>3</td><td>ありうる</td><td>3 不可能</td></tr> <tr><td>2</td><td>動作中数回/短時間</td><td>2</td><td>可能性あり</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>まれ/瞬間的</td><td>1</td><td>低い(まれ)</td><td>1 条件付きで可能性あり</td></tr> </table> <p>危害の発生確率(P%)</p> <table border="1"> <tr><td></td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>危害の酷さ(S)</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td><td>12</td><td>15</td><td>18</td><td>21</td><td>24</td><td>27</td><td>30</td><td>33</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>12</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td><td>28</td><td>32</td><td>36</td><td>40</td><td>44</td><td></td></tr> </table> <p>→ リスク低減推奨 → リスク低減必要</p>	4	重大障害(長期治療)	3	医療措置(短期回復)	2	応急手当てで済む	1	無傷/一時的な痛み	4	連続的/常時	4	高い(起こりやすい)	回避可能性(A)	3	動作中頻発/長時間	3	ありうる	3 不可能	2	動作中数回/短時間	2	可能性あり		1	まれ/瞬間的	1	低い(まれ)	1 条件付きで可能性あり		1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	危害の酷さ(S)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11		2	6	8	10	12	14	16	18	20	22		3	9	12	15	18	21	24	27	30	33		4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	
4	重大障害(長期治療)																																																																																															
3	医療措置(短期回復)																																																																																															
2	応急手当てで済む																																																																																															
1	無傷/一時的な痛み																																																																																															
4	連続的/常時	4	高い(起こりやすい)	回避可能性(A)																																																																																												
3	動作中頻発/長時間	3	ありうる	3 不可能																																																																																												
2	動作中数回/短時間	2	可能性あり																																																																																													
1	まれ/瞬間的	1	低い(まれ)	1 条件付きで可能性あり																																																																																												
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																						
危害の酷さ(S)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																						
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11																																																																																							
2	6	8	10	12	14	16	18	20	22																																																																																							
3	9	12	15	18	21	24	27	30	33																																																																																							
4	12	16	20	24	28	32	36	40	44																																																																																							

2011.2.9 コンセプト検証WG

初期リスクアセスメントシート(案)

項目	対象者	リスク見積					備考	
		危害の酷さ(S)	危害の発生確率(P%) 頻度/発生率(P%)	回避可能性(A)	リスク点数(R)	判定		
初期	稼働者	4	6	1	2	3	24	
初期	稼働者							
	第三者	2	5	2	2	1	10	
	第三者							
	第三者							
1上	稼働者	2	6	1	2	3	12	
1上	第三者							
1上	稼働者							
1上	第三者							

2011.2.9 コンセプト検証WG

リスクアセスメントシート(案)

項目	対象者	リスク見積					備考	
		危害の酷さ(S)	危害の発生確率(P%) 頻度/発生率(P%)	回避可能性(A)	リスク点数(R)	判定		
1上	稼働者	4	7	2	2	3	28	
1上	第三者							
1上	稼働者							
1上	第三者							

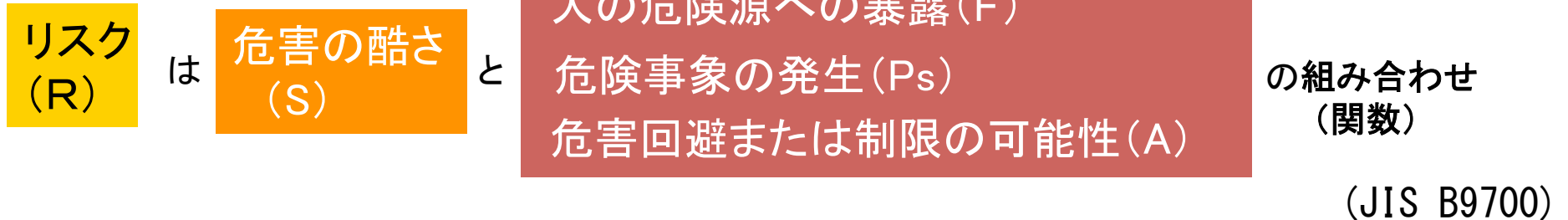
2011.2.9 コンセプト検証WG

仕様
首向け搭載型移動ロボット(自律移動機)
g(バッテリー含む) :電又は充電済みバッテリーと交換) f(モーター)+2輪自由輪、保持用メカブ
度、段差乗り越え最大20mm、旋回半径
行の自動切り替え、ブレーキ解除 、走行+超音波ビーコンによる位置補正 :る操舵と速度調整(ホールドトゥラン操
後)で障害物検出後減速、全周囲バンパ サ(前後)で走行路段差検出後停止 -残量、緊急停止、異常、後退時警報 別)

注: ひな形であるため、シート構成、記述方法、分析手法、見積ルールはあくまでも一例

# リスクアセスメントひな形シート

## (2) ひな形シートで採用したリスク見積もり方法



リスクRの算出式: ハイブリッド法

$$R = S \times (F + A + Ps)$$

$Ph$  (危害の発生確率)

注: あくまでも危害の起こりやすさのランク

Sの重み付け  
を重視した

# リスクアセスメントひな形シート

## (3) ひな形シートのリスク見積り基準一覧

危害の酷さ: $S$		危害の発生確率: $F + P_s + A$								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
重大傷害(長期間治療)	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44
医療措置(短期間治療)	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33
応急手当で回復	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22
無傷/一時的痛み	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11

晒される頻度又は時間: $F$	
連続的/常時	4
頻繁/長時間	3
時々/短時間	2
まれ/瞬時的	1

危険事象の発生確率: $P_s$	
高い	4
起こり得る	3
起こり難い	2
低い(まれ)	1

危害を回避又は制限できる可能性: $A$	
困難	3
可能	1

注:このひな形では、 $A$ 以外の要素の点数の重み付けはしていない。

保護装置の適用による効果を重視する場合( $P_s$ )など、各要素間での重み付けを考慮することもある。

# リスクアセスメントひな形シート

## (4) ひな形シートのリスク評価基準

晒される頻度又は時間: $F$	
連続的/常時	4
頻繁/長時間	3
時々/短時間	2
まれ/瞬間的	1

危険事象の発生確率: $P_s$	
高い	4
起こり得る	3
起こり難い	2
低い(まれ)	1

危害を回避又は制限できる可能性: $A$	
困難	3
可能	1

		危害の発生確率: $F + P_s + A$									
危害の酷さ: $S$		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
重大傷害(長期間治療)	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	
医療措置(短期間治療)	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
応急手当で回復	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
無傷/一時的痛み	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

\* ALARP(合理的に実施可能な限りリスクを下げる)

見積値 $R$	評価	リスク低減の必要性
15以上	リスクは高く, 受入れられない.	必須, 技術的方策が不可欠
7~14	リスクの低減が必要. ただし, 条件付(他に方策がない, 低減が現実的でない)で受容可能.	必要, 技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる
6以下	リスクは十分低い.	不要

リスクとのトレードオフ

# リスクアセスメントひな形シート

## (5) リスクとベネフィットの関係/バランスによる製品の受容(例)

産業技術総合研究所による「製品の安全性イメージに関する調査」(2010年)によると、

ユーザが感じる製品のリスクとベネフィットの関係は、

**家電製品 < サービスロボット < 自動車**

の順にベネフィットが多くなるがリスクも多いとなった。

サービスロボット(パワードスーツ、ロボティックベッド、自律作業用ロボット、パーソナルモビリティ)は、エレベータ、エスカレータ、電動車いすと同等のレベルにあると見なされた。



# リスクアセスメントひな形シート

(6) 初期分析・評価シートの分析結果の方策後再分析シートへの引き継ぎ

## 入浴サポートロボットの初期分析・評価シート

危険源同定					リスク見積					備考		
段階	No.	危険源	危険状態/危険事象	想定危害	対象者	危害の酷さ S	危害の発生確率 頻度 F	確率 Ps	Ph 回避 A		リスク 点数 R	
入浴	6	浴槽縁による下肢の押され	フットレストを出さないでシートを巡回して、下肢が浴槽縁に押されることにより、浴槽内へ転落する	頭部挫傷、溺死	要介護者	4	8	2	3	3	32	要介護者の疾患の程度によりSを考慮

**重要危険源は分析必須！**

## 入浴サポートロボットのリスク低減方策後の再分析シート

初期リスク分析結果				リスク低減				再リスク見積				備考(補足説明、参照規格類、保険等のその他の方策を記述)				
段階	No.	危険源	リスク点数 R	優先順位	保護方策(メーカーによる工学的手段)	危害の酷さ S	Ph 頻度 F	確率 Ps	回避 A	リスク点数 R	保護方策組み合わせ時のR		残留リスク方策(ユーザに依存) 警告ラベル	取説書への明記	訓練・管理	保護具他
入浴	6	浴槽縁による下肢の押され	32	2	フットレスト収納時にストップバーが出る仕組み	4	6	1	2	3	24	12	警告ラベル貼付	フットレスト使用時注意		
				3	シート下面の距離と下肢の存在検出用レーザーセンサの追加	4	6	2	1	3	24					
				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					

**最終リスク低減結果まで！**

# リスクアセスメントひな形シート

## (7) 方策後再分析シートの作成ポイント

- 1) 保護方策の適用の優先順位は「危害に至るプロセス」の通りに、1番目は危険源除去又は酷さの低減、2番目は暴露排除又は頻度低減、3番目は事象発生確率低減、4番目は回避又は危害の制限を行う。→ 優先順位番号は適用する保護方策の種類によって定まる。
- 2) 複数の方策の適用時はそれらの方策が同時に(重複して)機能するとして、各リスク要素の最低値をとっている。
- 3) 安全機能の安全性能については、別紙で安全性能目標と妥当性確認(検証)を記述する。
- 4) 追加された方策により発生した危険源は、初期分析・評価シートに新危険源として追加して独立して評価する(元危険源との関連が分かるようにする)。
- 5) 再リスク評価の結果、条件付き許容( $R=7\sim 12$ )の場合は残留リスク方策としてユーザによるリスク低減に委ねるための準備(情報提供等)を記入する。
- 6) ユーザによるリスク低減は、「警告ラベル」、「取説書への明記」、「訓練・管理」、「保護具他」に細分化して記述し、保険、制度等のその他の配慮は備考に記す。  
\* 基本的に残留リスクが大きいほど、ユーザ依存の方策が充実(複数の方策の組み合わせ、または単一方策の高レベル化)していなければならない。

# 衝突安全性試験

## (1) 自動車分野における傷害基準

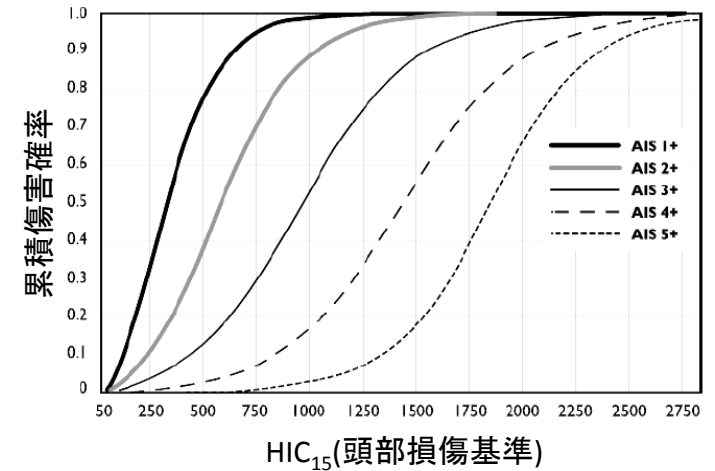
AIS ( Abbreviated Injury Scale;略式傷害尺度 )が使用されている

AIS コード	傷害度	頭部の症例
1	軽傷	頭部打撲、10cm以下の頭皮列創
2	中等傷	単純骨折、脳しんとう、10cmを超える頭皮列創
3	重傷	頭蓋底骨折、2cm以下の陥没骨折
4	重篤	複雑骨折、2cmを超える陥没骨折、硬膜外/下血腫 (≦1cm、≦50ml)
5	瀕死	硬膜外/下血腫 (>1cm、>50ml、両側)
6	即死	広範囲の頭蓋骨損傷及び脳挫滅

生活支援  
ロボットの  
主な領域

自動車  
分野の  
主な領域

傷害リスクカーブ(大人頭部)



(NHTSA)

\* AIS1,2の発生確率はAIS3等のデータからの推測値

### 安全判断の目安

**HIC<1000** : 自動車のバリア壁衝突 (50km/h前面衝突)、遊具(臨界高さ)など

# 衝突安全性試験

## (2) 傷害基準の拡張

AIS1～3について、人体の他の部位(特に上肢、下肢)及び子供に対する傷害リスクを検討

### 上肢の傷害レベル

- 頭部のような傷害発生確率データはない
- 骨折限界(AIS2相当)が参照可能
  - 人工骨(標準体型)による試験を予定

### 下肢の傷害レベル

- 足を踏まれた場合の人足の骨折確率と荷重の関係
  - 熊足を用いた実験結果を寸法換算して適用

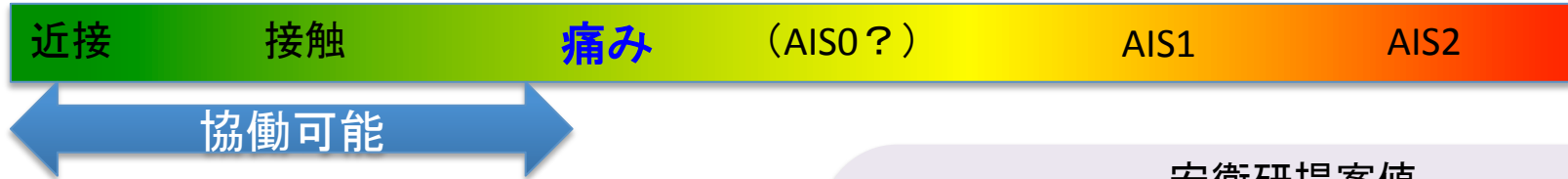
### 子供の頭部傷害レベル

- 大人の頭部傷害リスクカーブから、頭部の寸法換算により子供の頭部用データを作成
- 6歳児ダミーに移動体(質量200kg)を6km/hの速度で衝突させ、 $HIC_{15}$ を測定
  - AIS1以上の傷害が45%の確率で発生

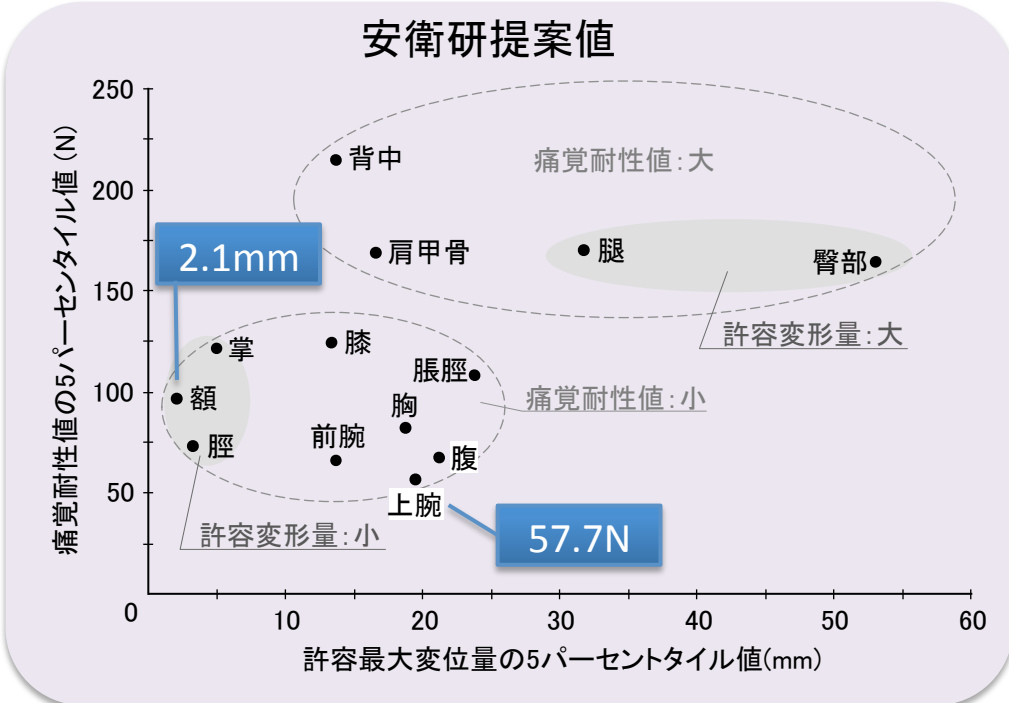
# 挟圧安全性試験

## (1) 挟圧安全性の判定指標

AIS1より低い危害レベルについて、静的に挟圧された人体部位の痛覚耐性値を採用



DGUV/IFA提案値  
(Pain threshold map)



Univ. of Mainzによる  
100人実験データ

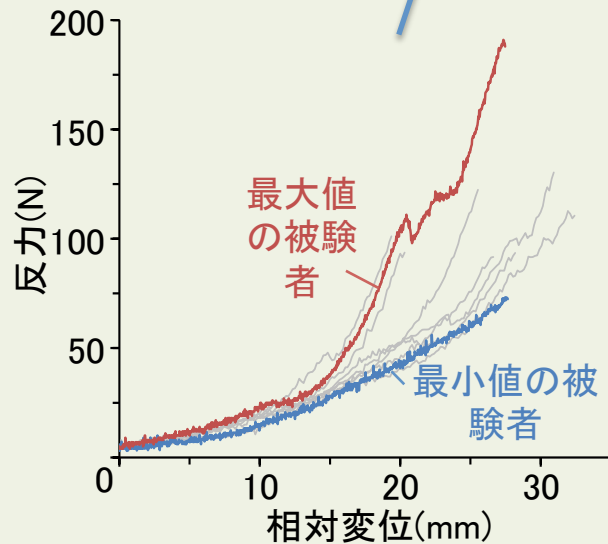
ISO/TS 15066

# 挟圧安全性試験

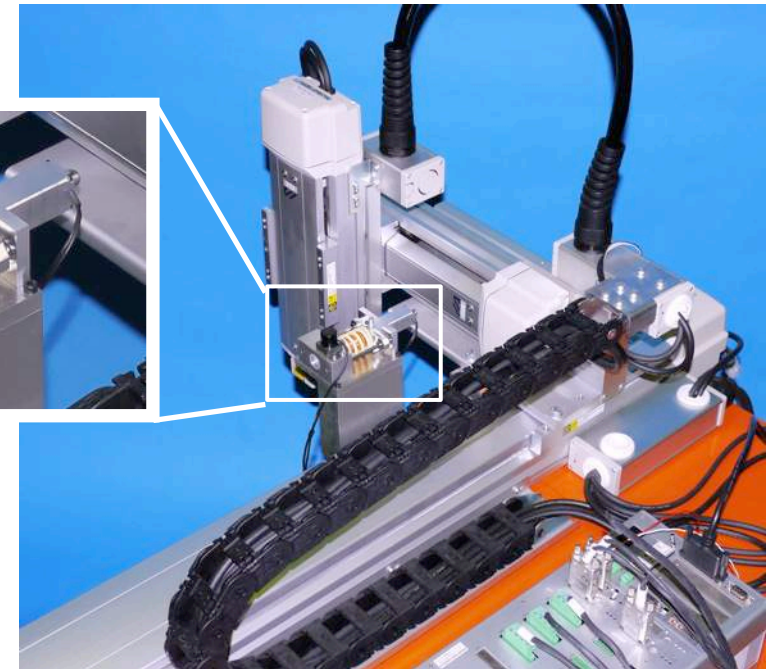
## (2) 挟圧力測定装置

- ロボットが人体接触過程で、人体を変位させて挟圧力を発生させるとき、反力が痛覚耐性値(5パーセントイル)を超えないことを確認 → 挟圧に対する保護方策の妥当性を判定
- 人体部位の反力ー変位特性は非線形だが、市販の計測器は弾性係数が一定

複数のコイルばねを組合せて  
非線形性を実現



上腕におけるプローブ変位と反力の関係



直交型マニピュレータに設置した挟圧力測定装置  
(小型三分力計、リニアエンコーダを組み込み)

# 温湿度及び振動環境耐久試験

## (1) 複合環境振動試験の目的と範囲

温湿度サイクル試験

温湿度・振動複合試験

最悪想定使用環境下における機能の正常性及び安全性能への影響を評価

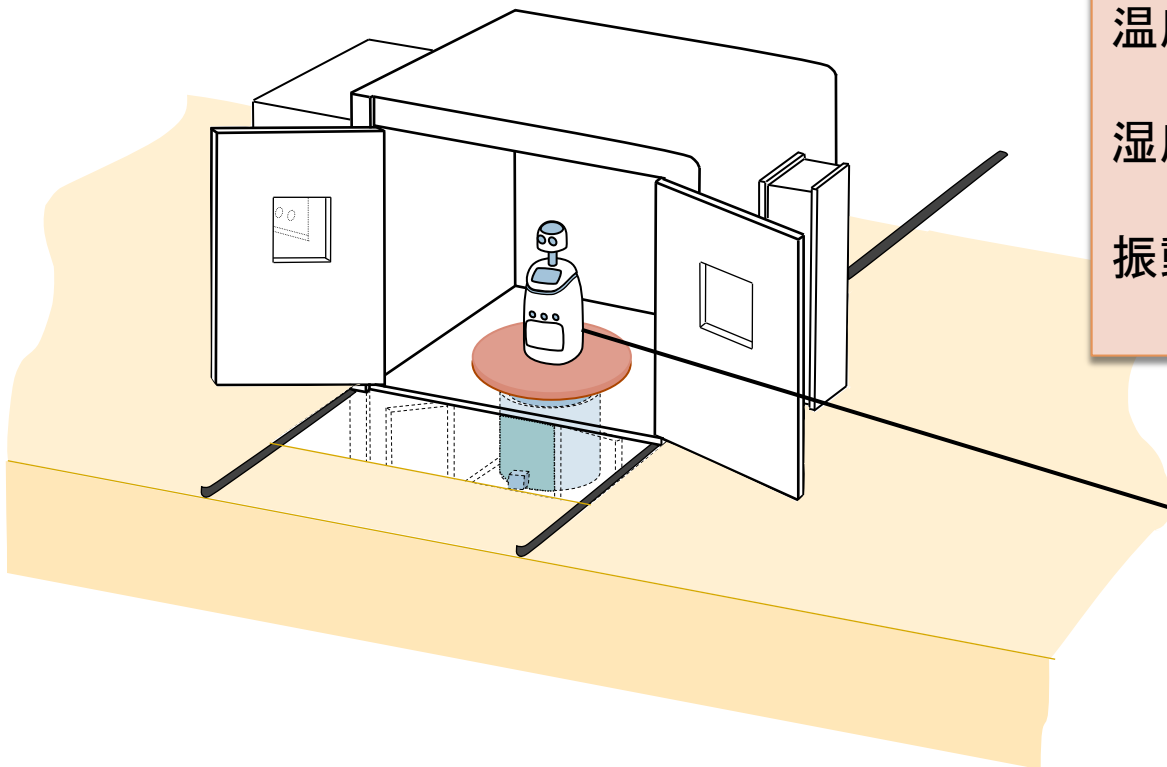
### 一般的に期待されるストレス効果

温度ストレス→熱変形, 定数変化,  
シール性低下

湿度ストレス→絶縁低下, 静電気障害  
マイグレーション

振動ストレス→疲労, 摩耗, 緩み  
定数変化

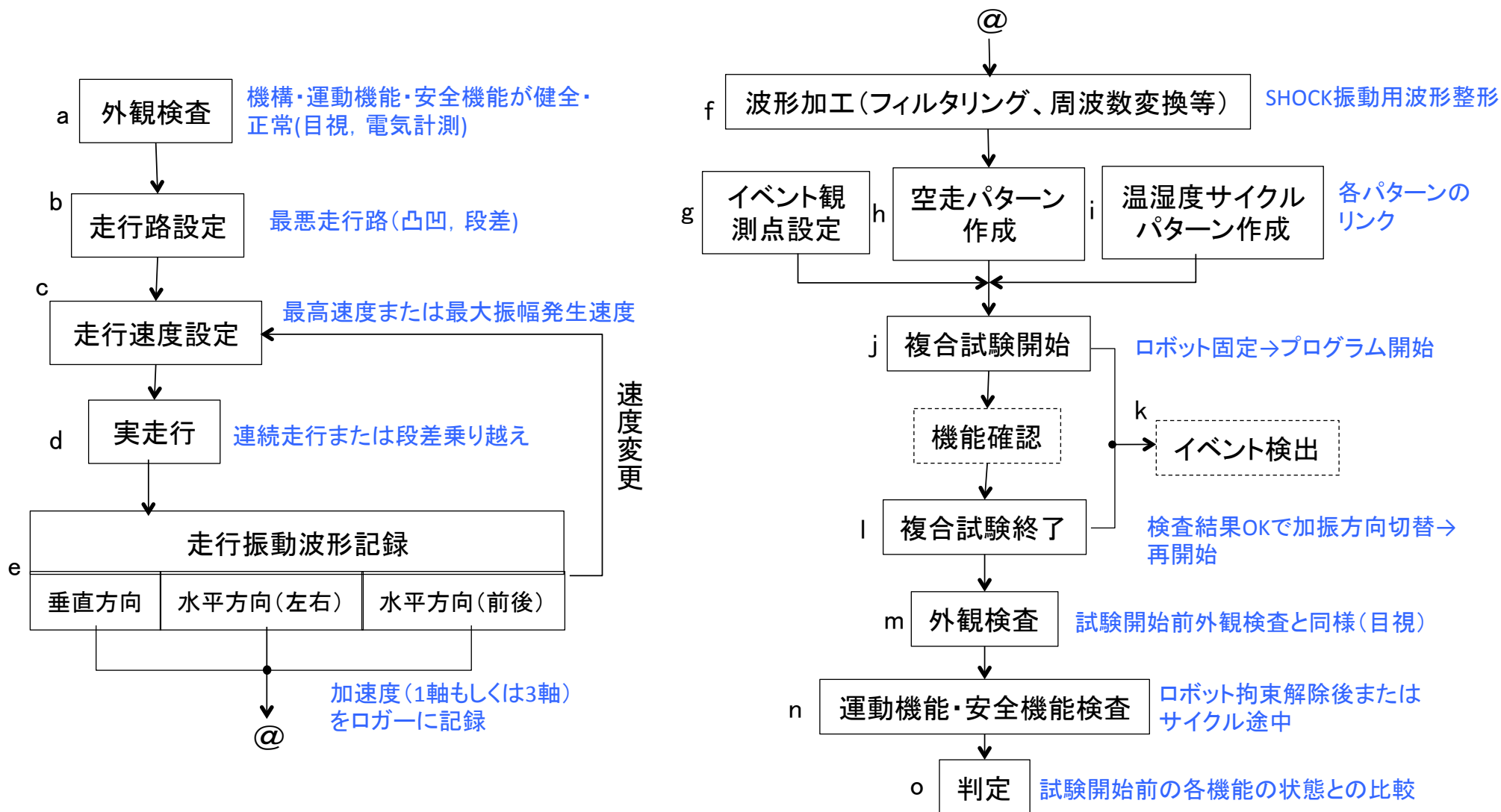
対象はロボット本体  
品質・信頼性試験ではない



# 温湿度及び振動環境耐久試験

## (2) 複合環境振動試験の手順

最悪想定使用環境下で対象ロボットが走行 → 人が非搭乗の空走状態を恒温恒湿室内で再現





# 温湿度及び振動環境耐久試験

## (3) 試験判定基準案

判定ランク	試験中または試験後の要求動作	備考(許容差の例)
S	全て試験前の状態から不変	
A	試験中は一時的に許容差以内で変動するが、試験後は自動復帰 → 自動診断・修復	開口部のずれ・ひずみが想定IPコードに影響しない
B	試験中は一時的に許容差を超えて、継続される場合は安全状態(停止状態)を試験後まで維持する。 → インタロック	AOPD検出領域のずれが200mm以内(人体の場合)
C	試験中に許容差を超えて、それが検出されずに安全状態に遷移しない。	総合停止性能が10%以内

目標合格レベル

最低限の合格レベル

前提: 試験前の構造や動作機能は設計時の意図通り(健全で正常)

\* AOPD: 能動的光電保護装置

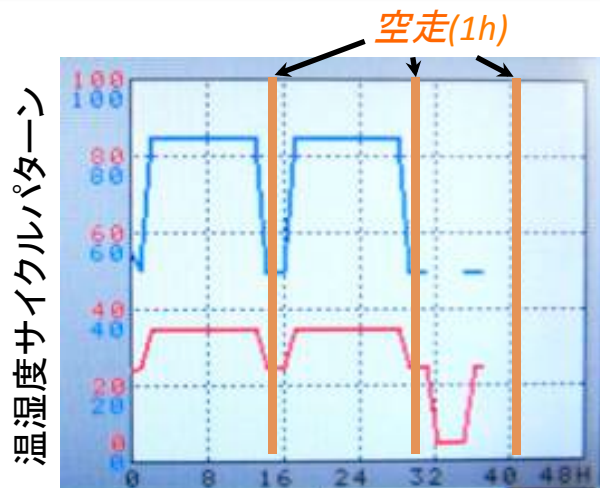
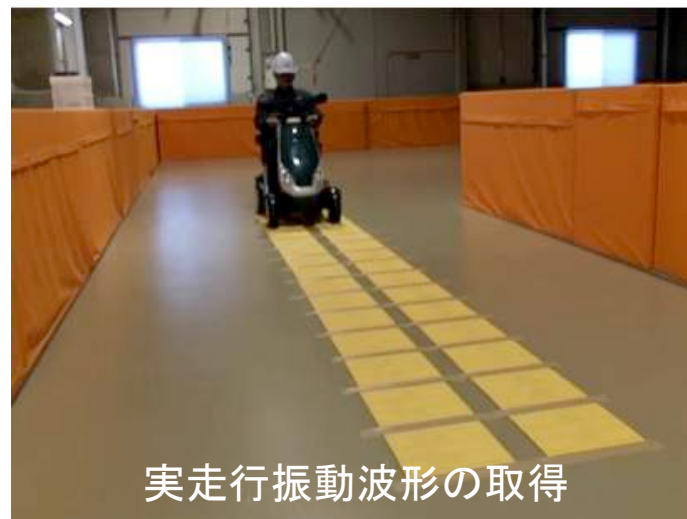
# 温湿度及び振動環境耐久試験試験

## (4) 複合環境振動試験の実施例

対象ロボット: ハンドル型電動車いす (搭乗型ロボットの模擬)

### 試験条件

- ① 温湿度サイクル  
(35°C, 85%RHで12h)×2回+(5°Cで3h)×1回
- ② 走行路  
点字ライン路面上を1及び4km/hで走行
- ③ ロボットの固定状態  
加振テーブル上で前輪接地, 後輪はフリー
- ④ 空走パターン  
(10s加振+20s休止)×120回
- ⑤ ロボットへの給電  
空走パターン実施時のみ電源オン(1h)



# EMC試験

## (1) 現行EMC規格への対応

- EMC規格 (IEC 61000-4-2,-3,-4,-5,-6,-8,-11及びCISPR16-2-1)
- 電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全 (IEC 62061)
- 個別規格 (車いす:ISO 7176-21等)



10m法対応電波暗室

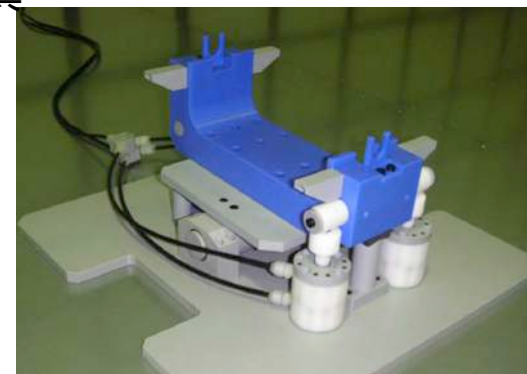
## ロボット測定のための治具開発



レバー操作用治具



人体への影響を試験するファントム



倒立振り子式ロボット支持台

# EMC試験

## (2) イミュニティ試験の安全性能判定基準案

IEC/TS 61000-6-2:EMC技術指針(電磁現象に対する機能安全実現の方法論)を参照

→ IEC 62061(機能安全) → IEC61306-3-1(計測制御)

ISO 13482(パーソナルケアロボット)

安全性能 判定基準 (条件はor)	機器が危険な動作をしない	→ 停止状態の維持*
	安全機能作動時に所定の安全状態に機器が移行できる	→ 制動性能、停止カテゴリ
	安全が確保されるならば、機器の障害は生じてもよい	→ 機器全体としてカバー

### \* 停止状態の維持とは

サーボ(一時)停止による保護停止(カテゴリ2停止)の維持(非常停止は除く)

合理的に想定される最悪条件: ロボット機器が人体皮膚表面に触れている状態から、微動して皮膚を圧迫する

• 人に危害が及ばない状態(安全条件)とは

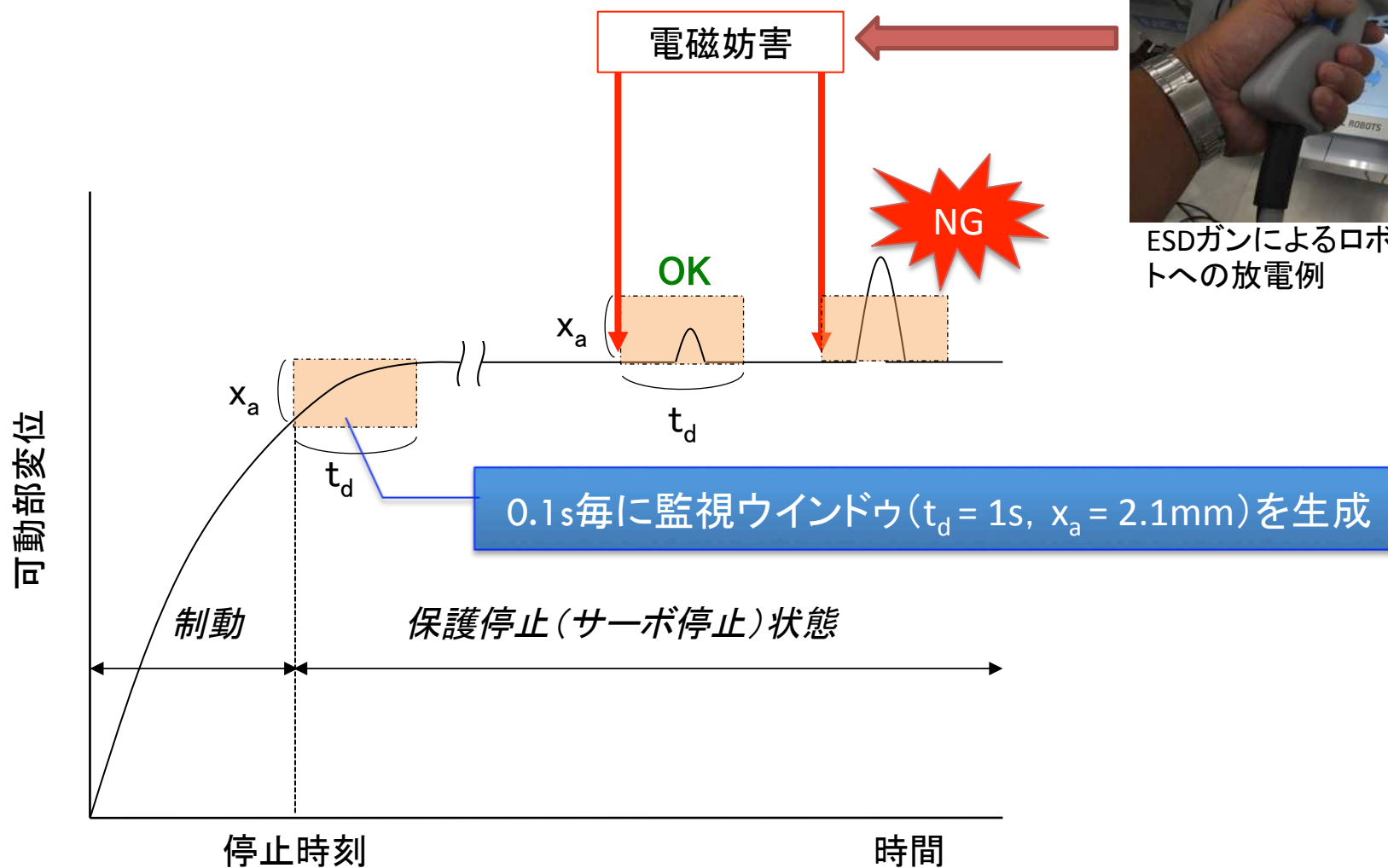
- 1) 皮膚の変位は許容値以内(変位条件)
- 2) 許容変位を超える前に回避可能(時間条件)

サーボ停止状態の機器(の一部)  
の変位量が1s間以上2.1mm以内  
に収まっていること

\* 2.1mmは挟圧の許容変位量(額)。この条件は保護停止過程の「完全停止」条件と同じ。

# EMC試験

## (3) 安全停止条件に基づく判定原理

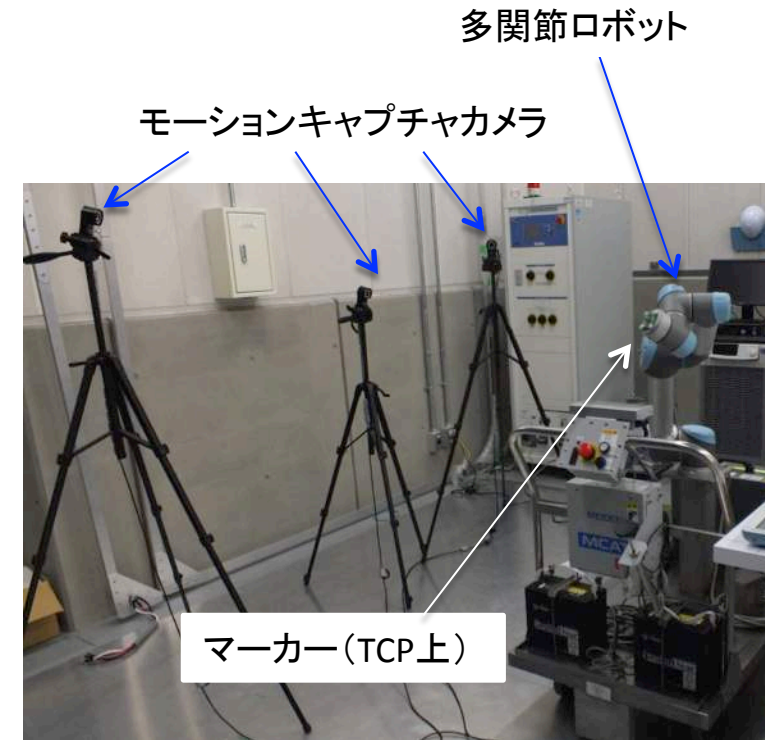
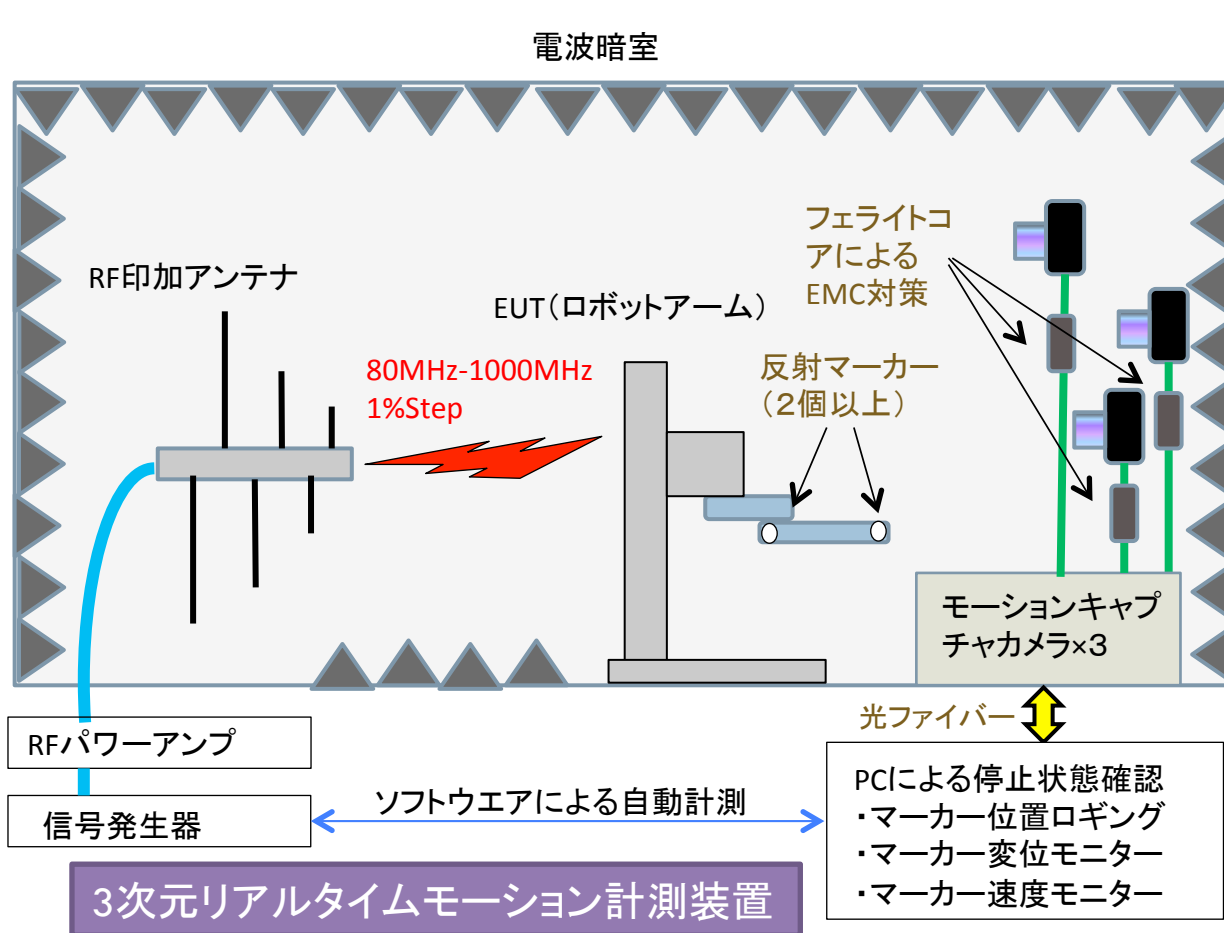


ESDガンによるロボット教示ペンダントへの放電例

# EMC試験

## (4) 安全停止状態の監視方法と装置構成

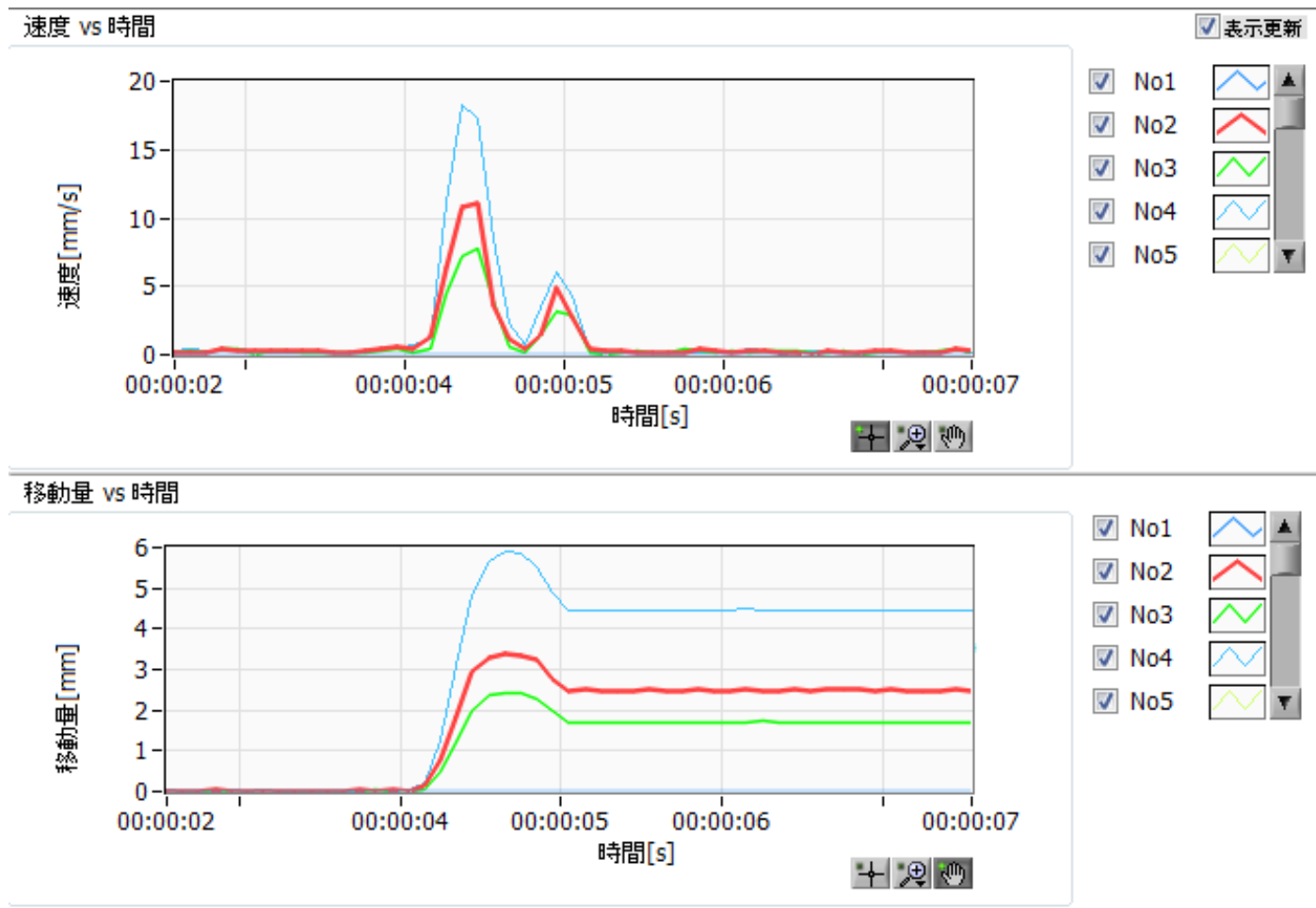
3次元リアルタイムモーション計測装置による非接触で高精度な停止監視



# EMC試験

## (5) 多関節ロボットの測定結果例

サーボ停止時に、電磁妨害として3V/m強度の80%AM変調信号を80MHz～1000MHzの周波数範囲に渡って1%ステップで印加 → 全時間域において規定範囲内の変動



# その他の安全性検証試験

最高速試験・制動試験



段差乗り越し試験



障害物検知・対応試験



安定性試験



耐久試験



接触安全試験





# 関連情報

本プロジェクトの活動の一環として、生活支援ロボットの安全性に関する情報の蓄積・提供手段(データベース)を開発して公開している。

## 生活支援ロボット安全情報センター(RT-SIC)

(<http://www.rtnet-biz.jp/rtsic/>)

- NEDO生活支援ロボット実用化プロジェクト成果資料
- 安全な生活支援ロボット作りに必要な情報の継続的な収集と提供
- 生活支援ロボットの事故・インシデントデータの蓄積(基盤の提供)
- 議論の場の提供とネットワーク形成支援

\* 上記RT-SICから、生活支援ロボット安全検証センター(安全性検証試験の拠点)や介護ロボットポータルサイト(国プロ)にリンクされている。