

# 過酷な災害派遣現場でも活躍可能な 高機動パワードスーツの研究状況

先進技術推進センター

研究管理官(第1技術領域担当)付

協調ロボットシステム技術推進室

松沢 純平

# 目次

---

- 高機動パワードスーツの研究概要
- 安全性確保に関する取り組み
  - ✓ リスクアセスメント
- 試験評価における取り組み
  - ✓ 試験の再現性と安全性
- まとめ

# 自衛隊に求められるパワードスーツ

## 【災害派遣任務】

災害発生後の厳しい環境下での重作業



がれき上での救助  
活動・人員搜索



重機などが入れない  
場所での人力作業



支援物資の運搬

陸上自衛隊：災害派遣  
<https://www.mod.go.jp/gsdf/news/dro/index.html>

## 求められる性能

- 搬送する負傷者や支援物資等の重量を支持
- 歩行だけでなく駆け足のような素早い動作が可能
- 泥濘地、山岳地、がれき上等の不整地でも行動可能

民生品に比べて重量支持と機動力の両立が必要

# 高機動パワードスーツの研究

## 研究目的

災害派遣任務における**救助活動の迅速化・隊員の負担軽減に寄与するパワードスーツの研究**

自然災害に対する強靱な社会の実現のために重きをおくべき「対応力」関連技術として本研究が位置付け。  
 (科学技術イノベーション総合戦略2017(2017年6月2日閣議決定))



## 災害対応

救助活動の迅速化



災害対応用途で  
令和3年度までに実用化レベル到達を目指す

- ▶ 個人用の装備品を装着・携行した隊員が**迅速機敏に行動**
- ▶ 個人用の装備品を装着・携行した隊員が**不整地を安定して行動**
- ▶ 個人用の装備品を装着・携行した隊員の野外行動に対する**安全性を確保**
- ▶ **耐環境性(防水、防塵)及び抗たん性(繰り返し転倒)を有する**

平成			令和			
27	28	29	30	1	2	3
研究試作品 設計製造			試験評価・改良			
←→			←→			

## 高機動パワードスーツの研究試作品

### ・下肢用外骨格型パワードスーツ

- ✓ 負荷の一部を地面に逃がす外骨格構造
- ✓ 人間の動作に滑らかに追従する機構
- ✓ 足裏センサにより遊脚/立脚切替

移動速度 (平坦)	同時 成立	駆け足 13.5km/h
携行重量		50kg以上 (30kgをスーツが支持)
アクチュエータ	電動・バッテリー駆動	
運用可能地形	砂地・凹凸路面 がれき上等	



# 装着者の安全性確保への取り組み

装着した状態で、厳しい環境下(山岳地・がれき上等)、激しい行動(姿勢変化・転倒等)

→高機動パワードスーツ自体の安全性に加え

想定される使用状況における装着者の安全性確保が必要

リスクアセスメントによる危険源分析に基づいた保護対策を実施

## リスクアセスメントシートの作成

リスクコミュニケーションを実施し作成

リスクアセスメントシートのイメージ

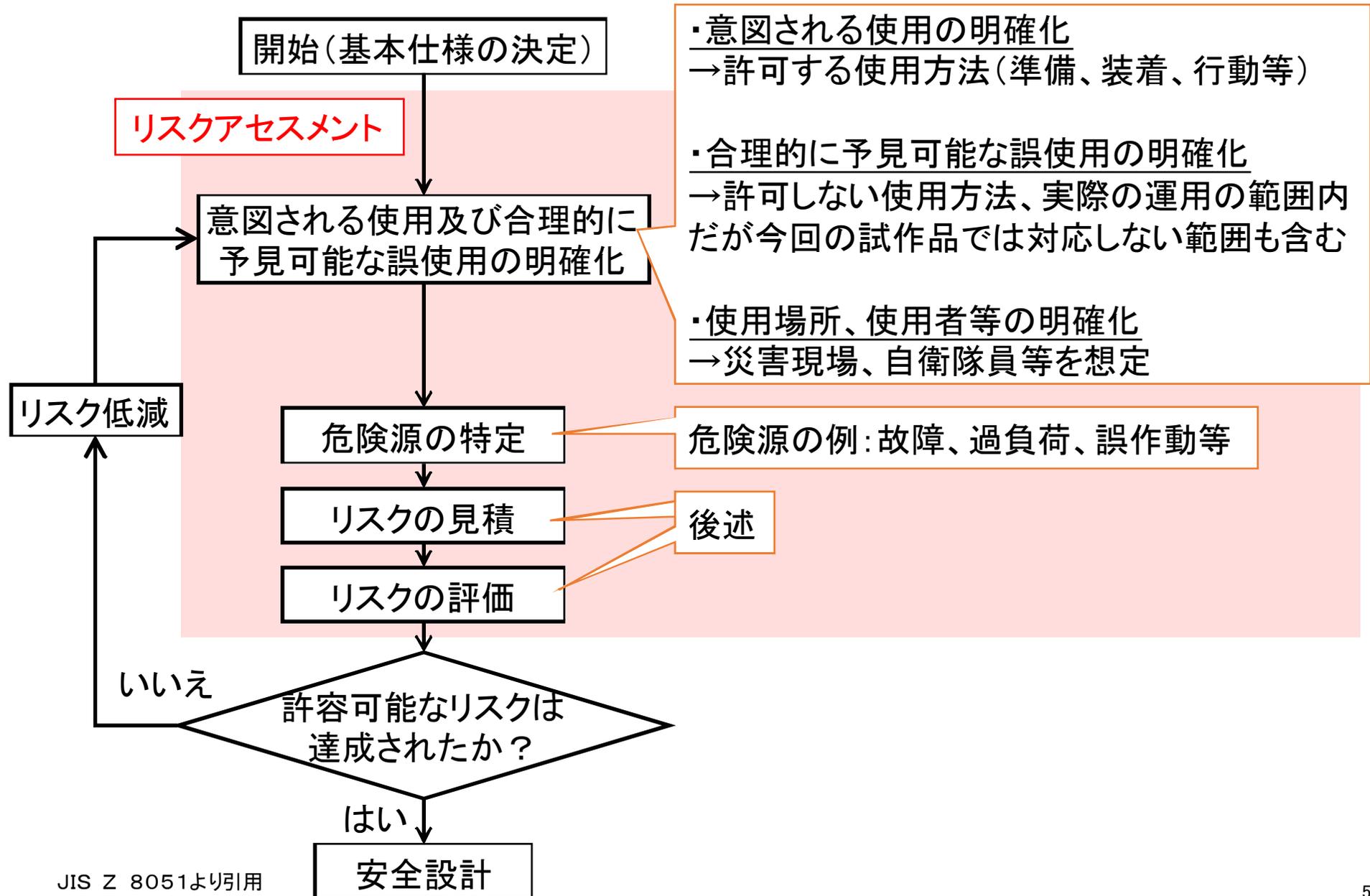
## リスクコミュニケーション

安全性に関するリスクについて関係者で実施する意見交換及び合意形成の場

リスク項目の例

危険源	危険状態/危険事象	酷さ S	頻度 F	確率 Ps	回避 A	発生確率 Ph	リスク 見積値 R
可動性	可動部が自由に動いてスーツが不自然な姿勢となり、装着者の動きに干渉してバランスを崩す	3	3	3	1	7	21

# 安全設計のプロセス



## リスクの見積・評価(1/2)

リスクの見積・評価には積算法(一部加算法)を採用

危害の酷さ (S)		危害の発生確率 ( $Ph = F + Ps + A$ )					
		晒される頻度/時間 (F)		危険事象の発生確率 ( $Ps$ )		回避可能性 (A)	
4	重大障害(長期間治療)	4	連続的/常時	4	高い	/	
3	医療措置(短期回復)	3	頻繁/長時間	3	ありえる		
2	応急手当で回復	2	数回/短時間	2	可能性あり	/	
1	無傷/一時的な痛み	1	まれ/瞬間的	1	低い(まれ)		



危害の酷さ (S) × 危害の発生確率 (Ph) = リスク見積値 (R)

リスク見積値 (R)		危害の発生確率 (Ph)								
		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
	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

■ : リスク受容不可能。リスク低減の技術的方策が必須。

■ : リスクの低減が必要。技術的方策が困難な場合は管理的方策等を講じる。

## リスクの見積・評価(2/2)

$3 \leq R \leq 6$ :「十分低い/受容できる」  
(社会的に受入れ可能なリスクレベル)

$7 \leq R \leq 14$ :「低い～中程度/条件付き受容/  
検討を要する」  
(最小限のリスクまで低減すべきレベル)

$15 \leq R \leq 44$ :「高い/受容できない」  
(リスク低減の技術的方策が必須)

リスク見積値 (R)	危害の発生確率(Ph)										
	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	
	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	

:リスク受容不可能。リスク低減の技術的方策が必須。  
 :リスクの低減が必要。技術的方策が困難な場合は管理的方策等を講じる。

危険状態/ 危険事象/ 危害	防護方策	危害の 酷さ	危害の 発生確率	リスク 見積値
		S	Ph	R
スーツ可動部が自由に動く。				
スーツが不自然な姿勢を取り衝撃を緩衝できない。	スーツは装着者の動作を阻害せず、装着者の意図に沿って動作し、人に密着しているため、不自然な姿勢にはならない。また、骨格部にストッパがあり人の骨格と逆関節になるような動作はしない。	1	5	5
動きを推定できずにスーツが誤作動する。		3	8	24

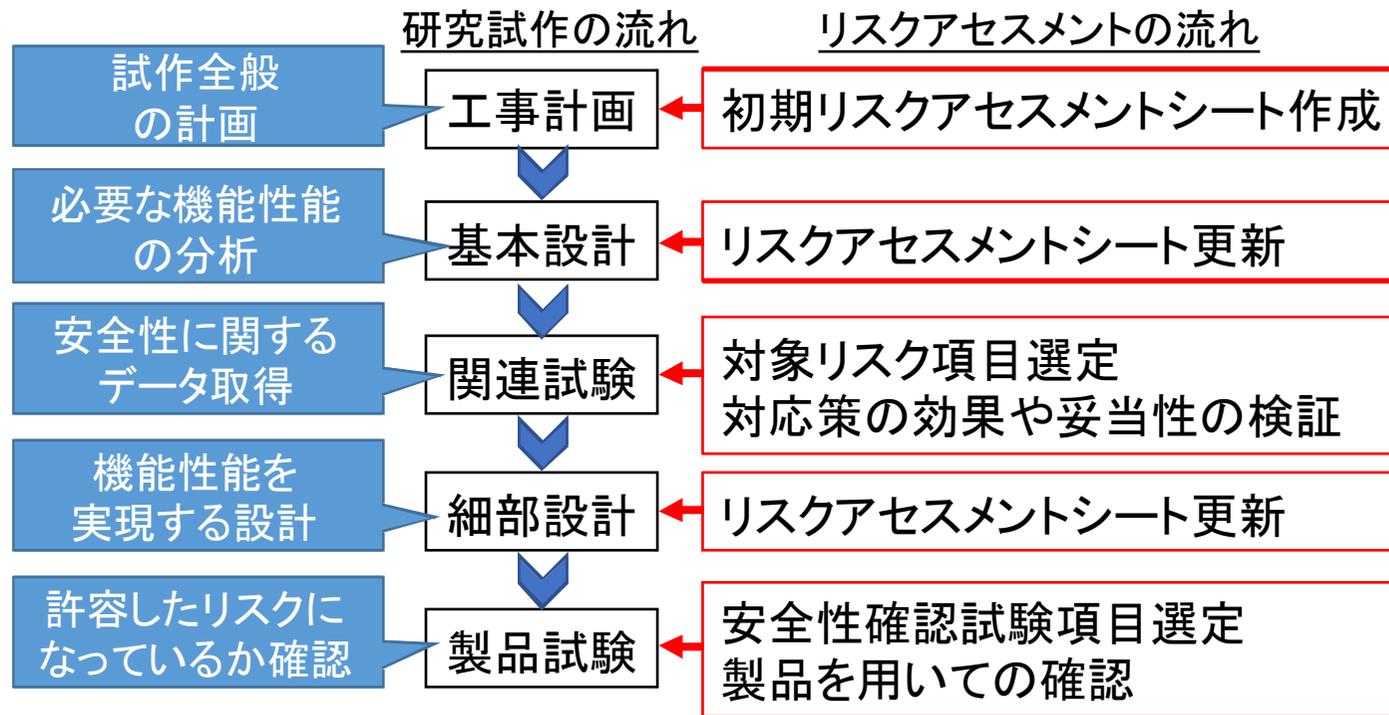
防護方策による  
リスク低減

### リスク対策基本方針

- ①危険状態の回避  
⇒本質的安全対策
- ②危険事象の顕在化防止  
⇒防護方策
- ③危害に至らない対策  
⇒使用者への通知

リスクアセスメント評価結果の一例

# 設計・製造における安全性確保



段階	リスク数			
	$R \leq 6$	$7 \leq R \leq 14$	$15 \leq R$	存在しないと判断
工事計画 (初期リスクアセスメントシート)	30	84	229	—
基本設計	222	121	0	—
細部設計	287	0	0	56

段階ごとのリスク数の変化

試作の基本設計以降は「高い/受容できない」リスク(リスク見積値15以上)に該当する項目が0であることを維持するように管理

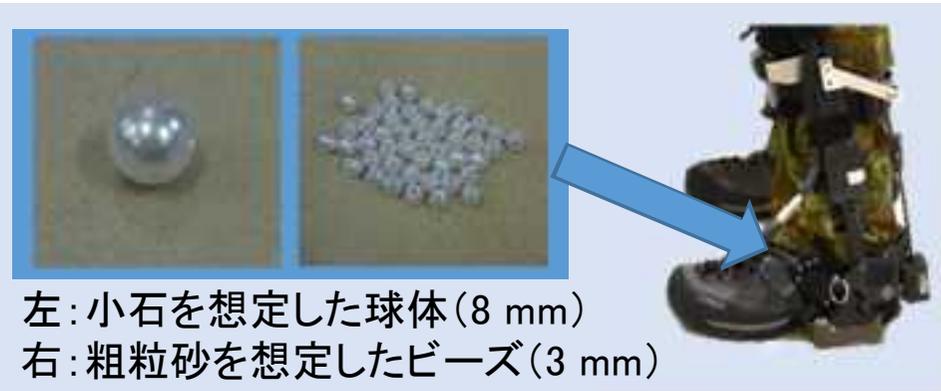
# 製品試験(安全性確認)の概要

リスク見積値6以下に低減したリスク項目のうち検証が必要なもの  
 → **完成した試作品を用いた安全性確認試験**を実施

(例) 足裏センサ

危険状態	保護対策	危害の発生確率				被害の度合	リスク点数
		晒される頻度/時間	危険事象の発生確率	回避可能性	<i>Ph</i>	<i>S</i>	<i>R</i>
		<i>F</i>	<i>Ps</i>	<i>A</i>			
装着者とセンサの間に隙間がある	—	—	—	—	—	—	—
隙間に異物が挟まってノイズとなる	足裏センサは靴内部に配置されている。また、ブーツと足に隙間に異物が挟まっても破綻しないロバストな制御になっている。	1	1	1	3	2	6
スーツが暴走する	—	—	—	—	—	—	—
初期リスク見積値		1	2	3	6	3	18

- ・ブーツと足の隙間に異物を入れて歩行
  - ・遊脚立脚の判定に問題ないか確認
- 遊脚立脚の判定に問題なく歩行できることが確認できた



左: 小石を想定した球体(8 mm)  
 右: 粗粒砂を想定したビーズ(3 mm)

**試験の結果、リスク低減方策が妥当であることが確認**

# 試験評価の安全性確保への取り組み

野外・不整地上での歩行や作業が可能か試験評価を実施

→ **実験室環境とは異なる危険**が存在  
(不規則な凹凸・傾斜・崩れやすいがれき等)

**試験フィールドの特性に応じた安全対策を実施**

- ・砂地・凹凸路面歩行試験
- ・がれき上歩行・作業試験



**不整地の路面特性を反映しつつ安全に試験を実施**するため  
**試験方法標準化**の考え方を取り入れた評価方法の検討を実施

野外試験の  
前提となる  
安全対策



ヘルメット  
手袋  
ニーパッド  
エルボーパッド  
等のプロテクター類  
の着用を徹底



装着者への  
機体特性の  
事前説明を徹底

平坦地歩行等の  
事前訓練により  
習熟度を上げて  
不整地試験へ

## 砂地・凹凸路面歩行試験(1/3)

### ① 模擬砂地・凹凸路面による動作確認

- 遊脚/立脚切替の誤判定が発生する可能性
- 誤判定が発生するとバランスを崩したり転倒する恐れ

→ 野外試験の**安全性を確保するため事前に屋内で動作確認を実施**



模擬砂地



模擬凹凸路面  
(ベニヤ板・クライミング  
ホールドで製作)

「土踏まずが乗り上げる」などの状況を模擬

砂地・凹凸路面で想定される**誤動作の有無の確認**  
**転倒等の危険性の抽出**

## 砂地・凹凸路面歩行試験(2/3)

### ②野外砂地・凹凸路面による不整地踏破性評価

- 砂斜面、テトラポットによる段差乗り越え、開けた山道での歩行試験

→屋内の動作確認に基づき安全に試験実施

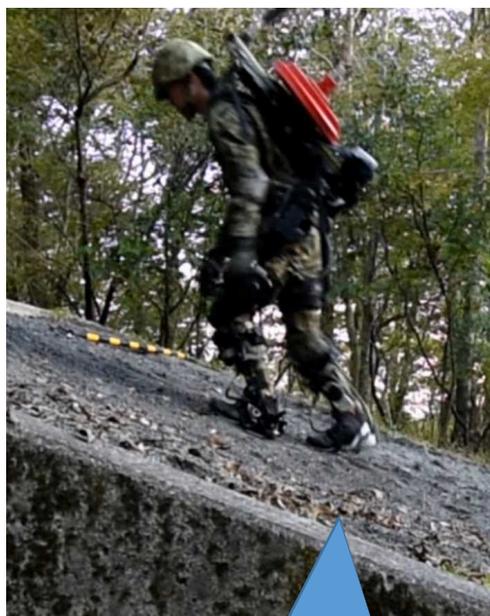


## 砂地・凹凸路面歩行試験(3/3)

### ②野外砂地・凹凸路面による不整地踏破性評価

- ・ 砂斜面、テトラポットによる段差乗り越え、開けた山道での歩行試験

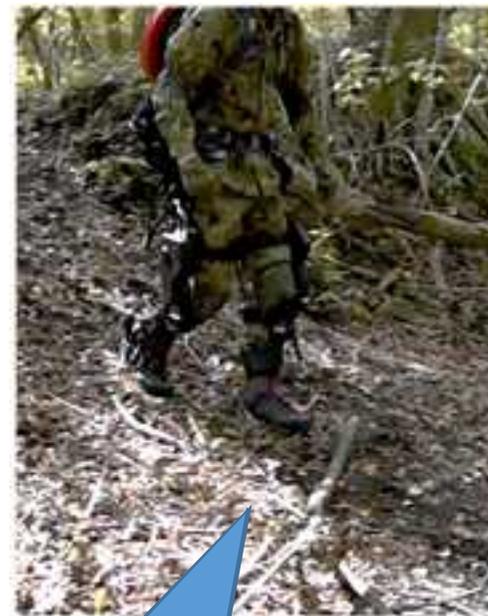
→屋内の動作確認に基づき安全に試験実施



砂地の場合



足の一部のみが  
接地する場合



枝や小石などを  
踏みつける場合

野外環境での砂地・凹凸路面を踏破できることを確認

## がれき上歩行・作業試験(1/4)

### ①がれき上歩行試験の足場確認

- がれきが不規則に積み重なっているため足場が崩れやすい
- バランスを崩したり踏み外したりして転倒する危険性がある

→足場をあらかじめ確認し足場性質をマーキングした上で試験実施



黄色:ぐらつくため足を載せるのに注意を要する足場



赤色:崩れる恐れが高く足を載せるのが危険な足場

注意を要する足場における  
パワードスーツの歩行課題抽出

## がれき上歩行・作業試験(2/4)

### ②災害模擬現場での不整地踏破性の定性評価

- 高機動パワードスーツ装着者ががれき上を歩行して現場に進入
- がれき除去作業を実施したのち要救助者を模したマネキンを搬送

→がれき上歩行・作業の課題抽出



## がれき上歩行・作業試験(3/4)

### ②災害模擬現場での不整地踏破性の定性評価

- 高機動パワードスーツ装着者ががれき上を歩行して現場に進入
- がれき除去作業を実施したのち要救助者を模したマネキンを搬送

→がれき上歩行・作業の課題抽出



災害模擬現場において人命救助で想定される一連の動作を実施可能であることを確認するとともに、遊脚/立脚の制御を向上させる必要性を確認

# がれき上歩行・作業試験(4/4)

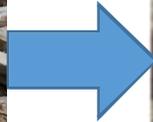
## ③標準がれき足場を用いた不整地踏破性の定量評価

- がれき上歩行に課題があった部分を標準的な試験コースとして抽出
- 災害模擬現場の足場をシンプル化

→試験の再現性を確保するとともに、装着者の安全性も確保



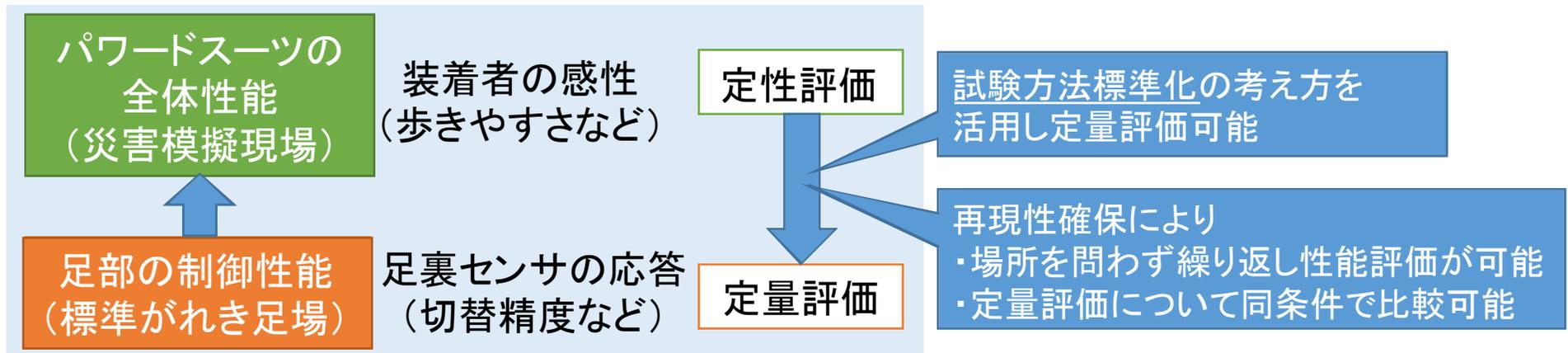
災害模擬現場



黄色:右足  
白色:左足  
と規定

足場を探る動作等が生起する場面を再現

標準がれき足場



今後は野外で安全に歩行するための制御パラメータの最適化を実施

## まとめ

---

- 災害派遣任務には携行力と機動力双方に優れたパワードスーツが求められているため、**隊員の負担を軽減しつつ、迅速機敏に各種行動を実施可能な「高機動パワードスーツ」の研究**を行っている。
- 研究試作品の設計製造の段階では、**リスクアセスメントによる危険源分析**に基づいた保護対策を実施した。
- 野外試験では、試験の再現性と装着者の安全性を確保し、**より効果的で安全な試験評価手法**の確立を志向している。
- 現在までに、高機動パワードスーツの試験評価を行い、野外砂地・凹凸路面の歩行やがれき上での歩行及び作業が可能であることを確認できた。
- 災害対応用途で令和3年度までに**実用化レベル到達を目指す**