研究論文

介護予防のための筋力向上トレーニング ロボットシステムの研究開発

中部　昇[*]　須田　孝義[**]　菅家　章[*]　大野　宏[*]　斎藤　博[***]　長谷川　直樹[****]　真柄　賢太郎[*****]

Development of muscle strength improvement training robot for elderly persons

NAKABE Noboru[*], SUDA Takayoshi[**], KANKE Akira[*], OHNO Hiroshi[*], SAITOH Hiroshi[*], HASEGAWA Naoki[****] and MAGARA Kentarou[*****]

抄　録

高齢者を対象とした筋力向上トレーニングロボットの安全性を評価するために，人の代わりにトレーニングロボットを駆動する試験装置を開発し，負荷特性試験，電気安全性・電磁両立性試験，および連続運転試験を行った。これらの試験結果はいずれも良好であり，その後高齢者の使用が試みられるトレーニング効果の実証試験へむけて，その安全性を確認することができた。本試験装置によって，使用者に危険が及ぶことなく，かつ任意の使用状況を繰り返し再現することが可能となり，再現性の高いトレーニングロボットの安全性評価を行うことができた。

1. 緒　言

加齢などにより体力や身体機能の低下した高齢者が質の高い生きがいのある社会生活を営むためには，各個人の体力や身体機能に応じた無理のない運動を続けることによって，心身ともに健康を維持，増進することが必要である。これに関連して，平成 18 年度に施行された改正介護保険法によって，全国に設立される介護予防拠点で高齢者に対して筋力向上トレーニングなどのサービスが提供されるようになった。このような筋力向上トレーニングでは，各人の医療情報に基づいて専門医師や理学療法士の処方による個人の身体能力に適合した適度な運動メニューを提供することが不可欠である。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　研究開発センター
　レーザー・ナノテク研究室
****　下越技術支援センター
　（平成 17-18 年度所属）
***** 研究開発センター（平成 17 年度所属）

本研究は，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成 17-19 年度事業「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」において，高齢者を対象とした，安全かつ効果的な運動メニューを提供できる筋力向上トレーニングロボットシステムの開発を，財団法人にいがた産業創造機構と株式会社日立製作所が受託したものである。試作された筋力向上トレーニングボットを図 1 に示す。本トレーニングロボットは従来のレッグプレス，ローイング，レッグエクステンションを複合した構造を有して

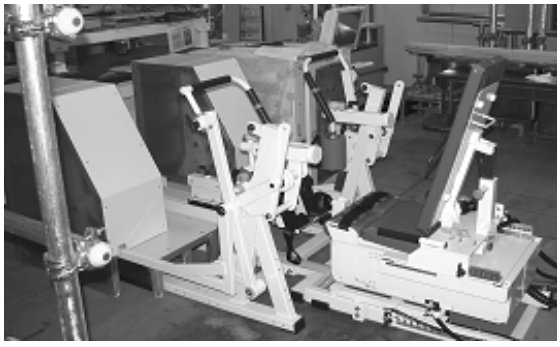


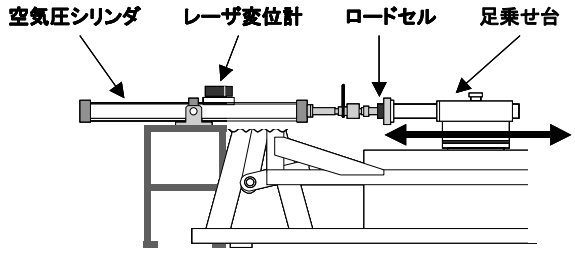
図 1　筋力向上トレーニングロボット

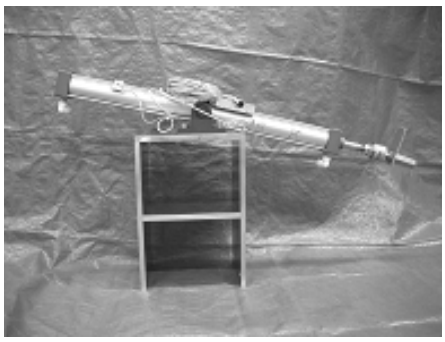
おり，上肢と下肢の筋力トレーニングを 1 台で行うことができる。また，トレーニング負荷を従来の錘ではなくモータにより発生させることで，それぞれの利用者に適合した負荷パターンを任意に調整することが可能である。しかしその反面，このようなロボットと使用者が直接触れ合うシステムでは，故障，停電など万一の場合において，誤作動などにより利用者に危険が及ばないよう安全性を確保する必要がある。

そこで新潟県工業技術総合研究所では，本トレーニングロボットの安全性評価を受託し，人の代わりにトレーニングロボットを動かす試験装置を開発した。これを用いて負荷特性試験，電気安全性・電磁両立性(EMC)試験，および連続運転試験を行い，使用時においてトレーニングロボットが所定の負荷を作用させているか，ならびに制御装置の安全性が確保されているかについて検証を行った。本報では平成 18 年度に行った試作トレーニングロボットの安全性評価試験について報告する。

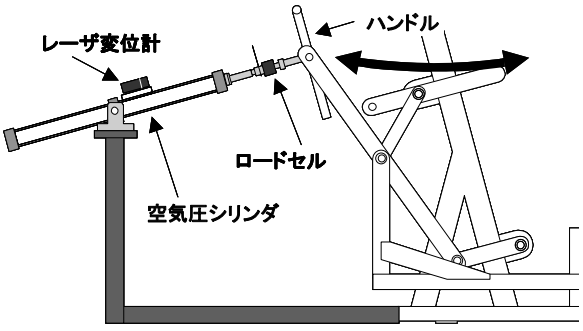
2. 安全性評価試験装置の開発

トレーニングロボットの安全性を評価する際，ロボットを人の力で動かす方法は使用者に危険

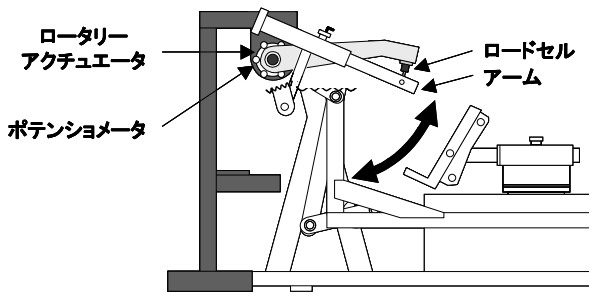


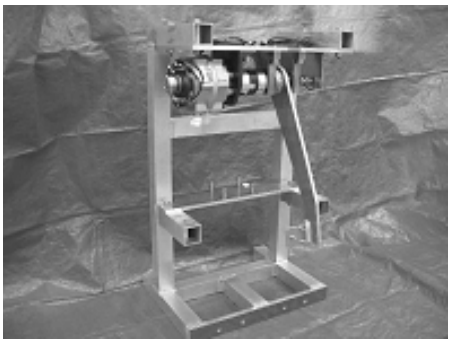


(a) レッグプレス用評価試験装置



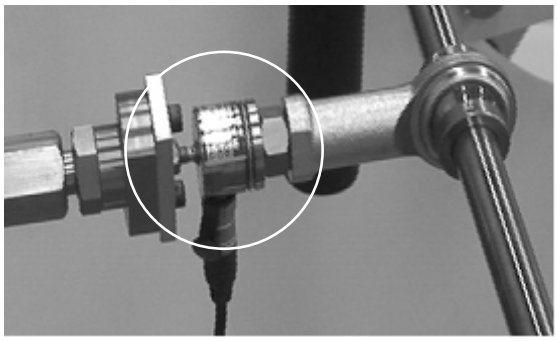
(b) ローイング用評価試験装置





(c) レッグエクステンション用評価試験装置

図 2　安全性評価試験装置



(a) ロードセル

(b) レーザ変位計

図 3　作用荷重およびストロークの測定

が伴うばかりでなく，動作のばらつきによる試験結果の再現性への影響が懸念されることから，人の代わりにロボットを動かす安全性評価試験装置を開発した。本試験装置は図 2 に示すように，レッグプレス，ローイング，レッグエクステンションに対応した 3 台とした。試験装置の駆動源には，レッグプレス，ローイング用については空気圧シリンダ（太陽鉄工製 10A-6TC50B600-CF2-FB）を，レッグエクステンション用については空気圧式ロータリーアクチュエータ（太陽鉄工製 TRV2-300D90A45L-K2）を用い，それぞれトレーニング時に使用者が力を作用させる足乗せ台，ハンドル，アームに冶具を介して接続することによって，これらを直接動かす構造とした。シリンダ，ロータリーアクチュエータはプログラマブルコントローラを用いて制御し，その駆動速度はスピードコントローラによる空気の吸排気量で，ストローク幅は停止位置に取り付けた磁気センサの位置でそれぞれ調整を行った。接続冶具には図 3(a)に示すロードセルを取り付け，ロボットを動かした際の作用荷重を測定できるようにした。またストロークの測定を行うために，レッグプレス，ローイング用試験装置には図 3(b)に示すレーザ変位計を，レッグエクステンション用試験装置にはポテンショメータを取り付けた。これらの出力は共に A/D コンバータを介し，サンプリング周波数 50Hz でパーソナルコンピュータに記録した。

3.　安全性評価試験

本評価試験装置を用いて，試作トレーニングロボットの安全性評価試験を行った。試験の結果はいずれの項目とも良好であり，その後高齢者の使用が試みられるトレーニング効果の実証試験にむけて，その安全性を確認することができた。以下，各試験項目の概要について述べる。

3.1　負荷特性試験

試作トレーニングロボットのレッグプレス，ローイング，レッグエクステンションについて，評価試験装置を用いてその負荷特性を測定した。

実験条件は表 1 に示す速度および荷重条件とした。ここで，速度条件は所定のストローク幅を動かす際の片道の所要時間として設定した。

表 1　負荷特性試験条件

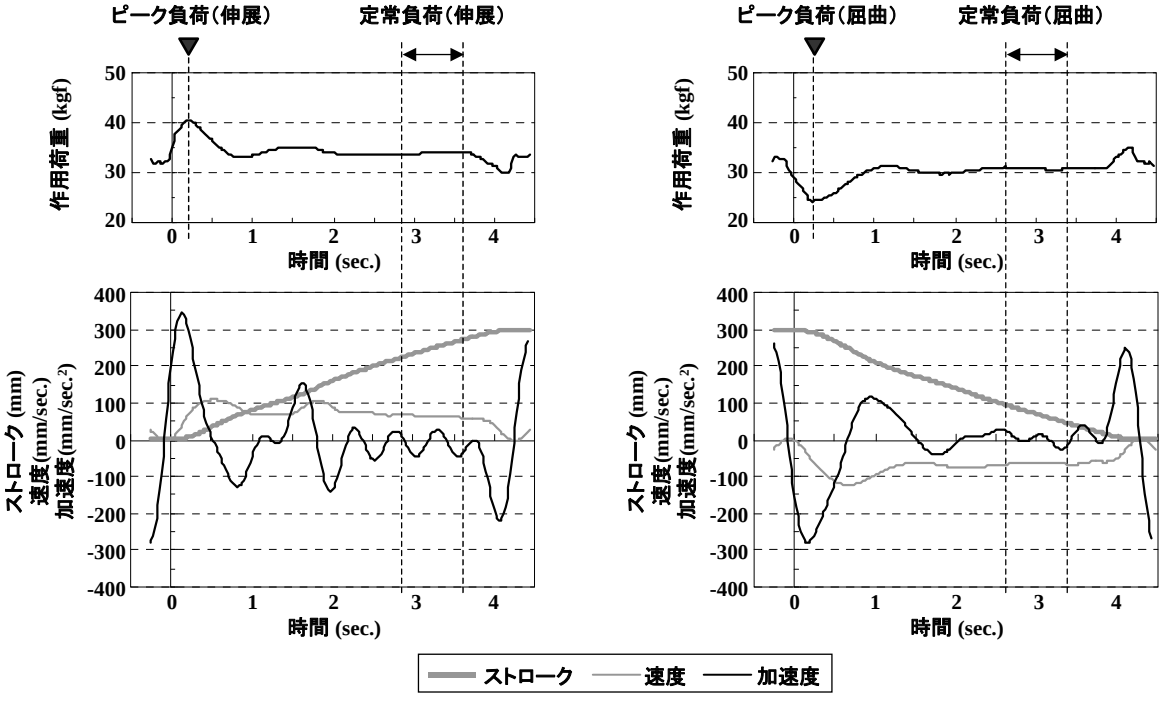
対象	ストローク幅	設定荷重	速度
レッグプレス	300mm	6kgf	片道２秒
		30kgf	
		60kgf	
		6kgf	片道４秒
		18kgf	
		30kgf	
		60kgf	
		6kgf	片道10秒
		30kgf	
		60kgf	
ローイング	450mm	15kgf	片道２秒
			片道４秒
			片道10秒
レッグエクステンション	70°	10kgf	片道２秒
			片道４秒
			片道10秒

また荷重条件は，トレーニングロボットを動かす速度によらず常に設定した荷重が作用する設定とした。試験装置を用いて各実験条件にてトレーニングロボットを動かし，そのときのストロークと作用荷重を測定した。試験風景を図 4 に示す。

レッグプレスにおける計測データの一例を図 5 に示す。グラフはそれぞれ脚を伸ばす方向（以下伸展），縮める方向（以下屈曲）にロボットを動かした場合の作用荷重およびストロークの時系列変化であり，併せてストロークから算出した速度，加速度も表示した。静止から動作開始に伴い速度が急激に変化する時刻，すなわち加速度がピークを示す時刻付近において，作用荷重は伸展時に最大値，屈曲時に最小値をそれぞれ示し，その後は速度変化が小さくなり一定の荷重値を示す傾向がみられた。これらはローイング，レッグエクステンションにおいても同様の傾向を示した。本試験においては，作用荷重が動作の速度や速度変化，すなわち加速度にどの程度依存して変化するかに着目して，レッグプレス，ローイング，レッグエクステンションに対して，動作開始時における作用荷重の最大値および最小値（ピーク負荷），ならび

(a) レッグプレス　　(b) ローイング　　(c) レッグエクステンション

図 4　負荷特性試験風景



(a) 伸展　　(b) 屈曲

図 5　負荷特性試験測定例（レッグプレス：設定荷重 30kgf，片道 4 秒）

表 2　電気安全試験，電磁両立性(EMC)試験項目

試験項目			試験概要
電気安全試験		絶縁耐圧	電源入力部への過大電圧に対する絶縁耐圧確認
		絶縁抵抗	電源入力部の絶縁能力確認
		漏洩電流	接触部位からの漏電(感電)の危険性確認
		接地導通	フレームグラウンド(安全接地点)の有効性確認
		異常信号	信号線の断線等の影響による異常動作確認
EMC試験	EMI試験	不要電界放射	不要電界強度の測定
		不要高周波伝導電圧	不要高周波伝導電圧の測定
	イミュニティ試験	静電気放電	人体からの静電気放電耐力
		放射電界	無線局等からの放射電界耐力
		ファストトランジェントバースト	電源線，信号線へ伝導するバースト波状ノイズ耐力
		雷サージ	電源線へ伝導する雷サージ耐力
		無線周波数伝導	電源線，信号線へ伝導する無線周波数ノイズ耐力
		電力周波数磁界	電力設備からの磁界放射耐力
		電圧ディップ，短時間停電	入力電源の変動，瞬断，短時間停電耐力

に，その後速度がほぼ一定状態となった際の作用荷重（定常負荷）を算出し，これらをトレーニングロボットの負荷特性として評価した。

3.2　電気安全性・電磁両立性試験

トレーニングロボットに対して，その電気安全性，電磁両立性(EMC)に関する性能を試験によって確認した。試験項目とその概要について表 2 に示す。ここで，本試験の基準となる規格については，日本工業規格(JIS)の電磁両立性に関するものとした [1)-7)]。加えて，トレーニングロボットは病院等の医療機関で使用されることが想定されることから，薬事法の一般医療機器に関連する規格も考慮した [8)-10)]。

3.3　連続運転試験

長時間の運転によってトレーニングロボットの機構や負荷特性に異常が生じないか確認するために，本評価試験装置を用いて 24 時間，7500 回の連続運転試験を行った。試験はレッグプレスを対象とし，試験条件は設定荷重 60kgf，所要時間片道 4 秒の 1 条件とした。運転時間による定常負荷の変化を測定し，併せてビデオ撮影により異常の有無を確認した。

4.　結　　言

(1)高齢者を対象とした筋力向上トレーニングロボットシステムの安全性を評価するために，人の代わりにトレーニングロボットを動かす評価試験装置を開発した。

(2)本試験装置を使用することによって，使用者に危険が及ぶことなく，かつ任意の使用状況を繰り返し再現することが可能となり，再現性の高い安全性評価や長時間の連続運転試験を行うことができた。

(3)本試験装置を用いて実施した試作トレーニングロボットの安全性試験結果はいずれも良好であり，その後高齢者の試用が試みられる実証試験へむけて，その安全性を確認することができた。

参考文献

1)JIS C 61000-4-2　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 2 節:静電気放電イミュニティ試験.

2)JIS C 61000-4-3　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 3 節:放射無線周波電磁界イミュニティ試験.

3)JIS C 61000-4-4　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 4 節:電気的ファストトランジェント／バーストイミュニティ試験.

4)JIS C 61000-4-5　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 5 節:サージイミュニティ試験.

5)JIS C 61000-4-6　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 6 節:無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ.

6)JIS C 61000-4-8　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 8 節:電源周波数磁界イミュニティ試験.

7)JIS C 61000-4-11　電磁両立性－第 4 部:試験及び測定技術－第 11 節:電圧ディップ,短時間停電及び電圧変化に対するイミュニティ試験.

8)JIS T 0601-1　医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項.

9)JIS T 0601-1-1　医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項－第 1 節:副通則－医用電気システムの安全要求事項.

10)JIS T 0601-1-2　医用電気機器－第 1 部:安全に関する一般的要求事項－第 2 節:副通則－電磁両立性－要求事項及び試験.