

## 事業の実施内容

## 1 実施経過

## (1) 事務手続き関係

平成29年	4月14日	交付決定通知受理 (4月1日付)
	5月12日	交付誓約書・振込依頼届・前金払申請書提出
	6月1日	補助金受領 (5,000,000円)

## (2) 事業関係

## ①人の動作モデルに基づいた機能性着衣の開発

平成29年	基礎実験
	9月20日 Universal Robot UR3 CB3搬入 (検収9/27)
	2月 一部装着型動作支援デバイスの開発

## ②多自由度移動ロボットの開発

2月	ばね機構を有する移動ロボットシステムの開発
2月	位置と力の融合制御手法の確立
2月	ばね機構を有するロボットシステムの力制御

## 2 実施内容

## ① 人の動作モデルに基づいた機能性着衣の開発

- ・ COM, ZMP推定に基づいた最適把持箇所の設定

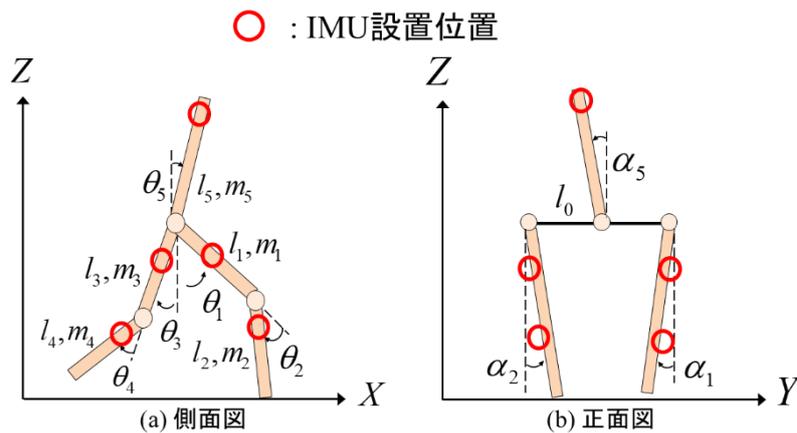


図1：二足歩行動作のモデル

本項目に関しては、継続の進捗状況でも記載したが、過去の研究成果を活用したものとなっており、IMU(Inertial Measurement Unit)を身体へ複数設置することで得られたジャイロおよび加速度センサ応答を利用したZMP(足底安定中心)およびCMP(身体重量

中心) の推定アルゴリズムの構築は終了している。特に、ジャイロセンサ応答に含まれる各軸の干渉応答の補償やKalmanフィルタによる加速度センサ内のドリフトの影響を補償するアルゴリズムを導入することによって、歩行動作時のZMPの推定に関しては推定精度の向上をはかることに成功している。現状では、人の動作支援を目的とした最適把持箇所の決定にまで至っていないが、今後はZMPの推定精度を指標として人の運動モデルの高精度化を行い、2018年度において人の動作支援における最適把持アルゴリズムの構築に結び付ける予定である。

図1に今回の検証で用いている二足歩行動作のモデル図を示す。また、力センサより測定を行ったZMP応答と図1のモデルに基づきIMUセンサ情報より求めたZMP応答の比較結果を図2に示す。これより、歩行動作時のZMP応答においては提案手法による算出により力センサ応答と同等の確からしい応答を得られていることが分かる。

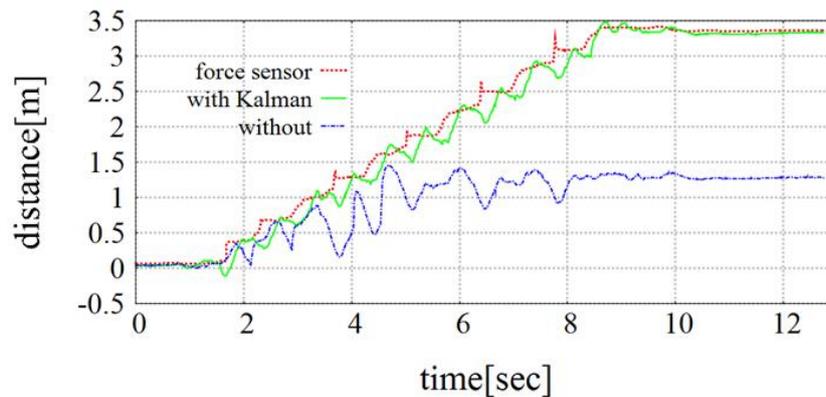


図2: ZMPの応答比較

- ・ 機能的着衣の機構設計



図3: 身体支持器の参考例 (Fixation glove for GoPro)

(<http://www.lapetitecamera.com/accessoires-fixations/147-gant-fixationmain-a-360-degrees-pour-gopro-hero.html> Last access: 2017/08/01)

本項目に関しては、図3に示すようなグローブタイプのハンド支持システムの設計の検討を行っていた。以下に1年目に製作を行った試作機の概要について簡単に示す。

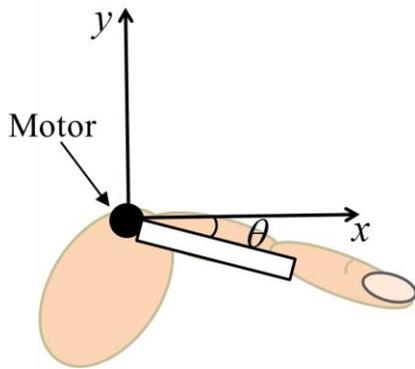


図4(a) : 指のモデル



図4(b) : 振戦抑制支援機器の試作機

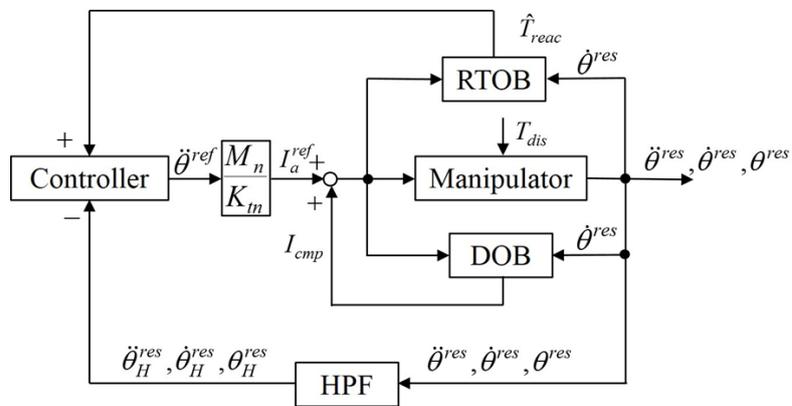


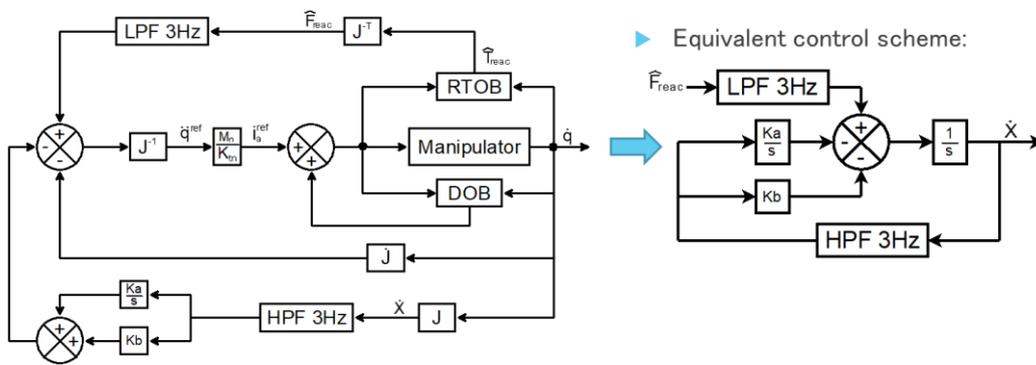
図4(c) : 制御系全体のブロック線図

試作機に関しては、図4(b)に示すような支援機器の試作を行った。機能性着衣については当初の予定と少し異なるアプローチとなっているが、試作機によって指先の震え防止のアルゴリズム構築とその実験的検証を行った。提案手法では、アシスト機器に搭載したモータの回転角加速度と電流指令よりモータへ作用する反作用トルクを推定し(RTOB)、力に応じた追従制御を行うためのフィードバックを行い、また位置制御に関しては位置、速度、加速度のフィードバックの際に高域通過フィルタ(HPF)を通してしている。これにより、力制御による人の動作意志に準じた低周波動作の追従制御、並びに人の意志とは関係なく発生する高周波動作の振動(手振れや振動障害)の抑制制御を効率よく達成可能となる。図4(c)はその制御系の概要をブロック線図で示している。

・ 機能性着衣の検証実験

本項目に関しては、機能性着衣の検証実験になるが、機能性着衣の機構設計の遅れからその進捗も大幅に遅れている。ただ、振動抑制を中心とした身体動作支援のアルゴリズムについてはマニピュレータを利用した基本実験により確認して

おり，その簡易実験でもその有用性が実証できている（図5）．同図のパラメータに関する詳細な説明は省略するが，前述と同様に設定周波数より小さい周波数領域では力制御が構成され，高い周波数領域では位置制御が構成されている．すなわち，人の意志に準じた低周波の入力に対しては自由な動作が反映され，高周波の振動（手の震え）に関しては位置制御により自由が拘束された制振制御となる．これにより，手の震えを抑えた人の自由意志動作が実現可能となる．図6および図7に手の微小振動を加えながら円状軌道の操作を行った場合の実験結果を示す．図6は提案手法無（力制御のみ），図7は提案手法を適用した場合の実験結果である．図7より，高周波の振動を抑えながら，低周波における人の意志に準じた円状軌道の自由動作が実現できていることが分かる．



(a) 提案手法のブロック線図 (b) (a)の等価変換ブロック線図

図5：周波数分解による手の震え動作防止支援制御システム

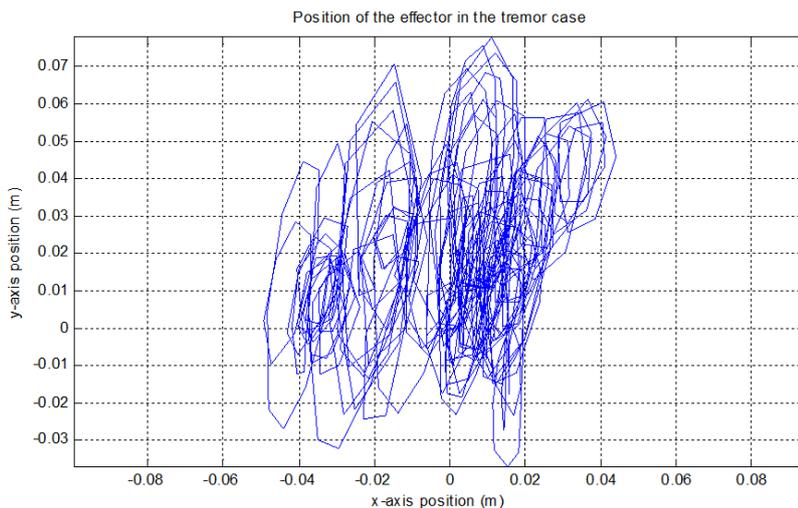


図6：手の微小振動を伴う操作（提案手法無）

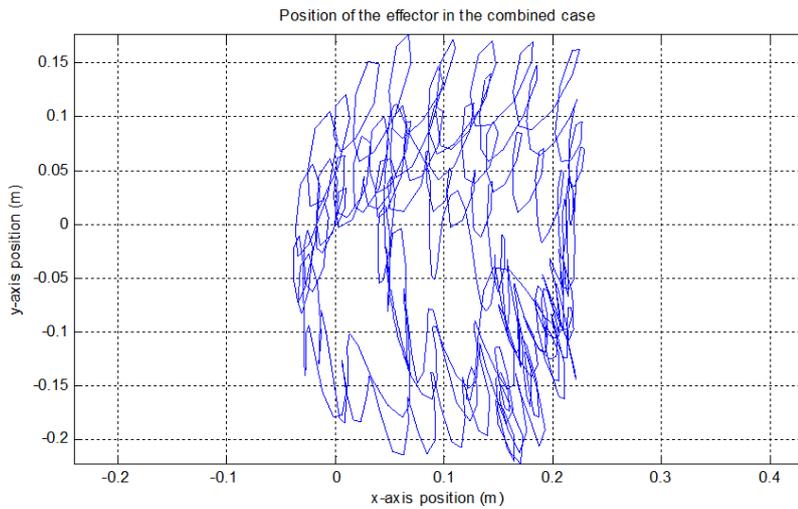


図7：手の微小振動を伴う操作（提案手法有）

上記のマニピュレータによる基本実験に加えて、上述したように試作機における指先の震え防止のアルゴリズムの構築を行った。アルゴリズムに関する検証はシミュレーションおよび実験により行っている。シミュレーションにおいては、図4(c)に示した制御系においてControllerとして、PD制御、PI制御およびPID制御を用いた場合の比較を行った。これらより、PID制御の適用において、振動抑制及び理想軌道に対する追従誤差が最も小さい結果となった。この点は、マニピュレータによる基本実験では考慮できなかった点である。実験においてはこの結果を考慮し、位置制御においてはPID制御に基づいた検証を行っている。

表1：各制御の誤差，抑制率に関する比較

	PD制御	PI制御	PID制御
理想角度との誤差の平均 [rad]	1.1	0.77	0.89
合成波の振幅に対する抑制率 [%]	86	56	65

実験では1リンクロボットに振戦を見立てた振動を8秒間加えることでその応答評価を行った。表2に位置偏差のRMS値を示す。提案手法により高周波の振動が抑えられ、位置偏差が小さく抑えられていることが分かる。

表2：偏差のRMS値

	制御なし	制御あり
偏差のRMS	0.54	0.24

図8に角速度応答を示す。この結果からも提案手法の有用性が確認できる。

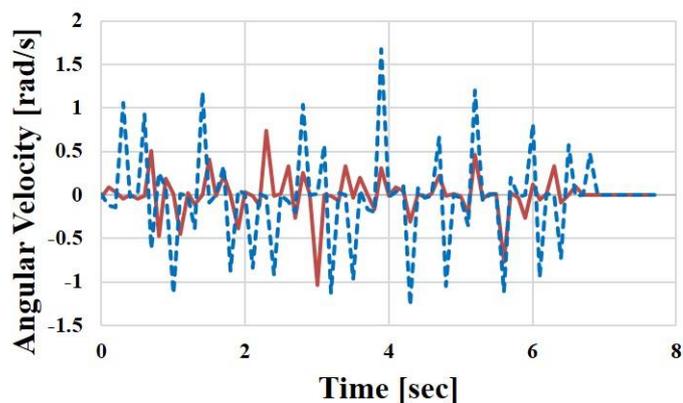


図8：実験における角速度変化

## ② 多自由度移動ロボットの開発（8月～翌年3月）

- ばね機構を利用した摩擦補償の高精度化

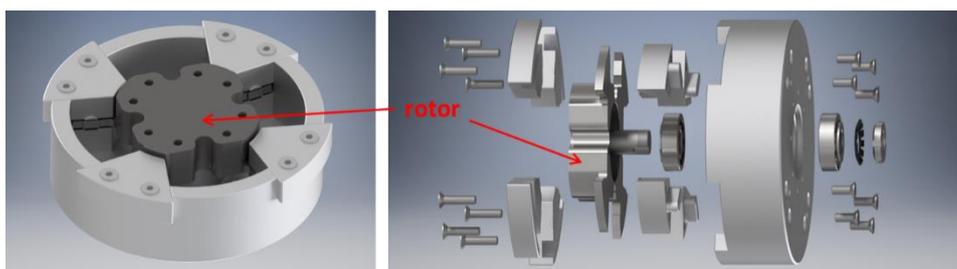


図9：柔軟機構のための関節構造



(a) ばね挿入のための関節構造 (b) ロボットアームへの組込み

図10：柔軟機構のためのバネ構造

本項目に関しては、図9, 10に示すような関節構造を構築し、柔軟機構（バネ機構）を導入するための機構設計を完了し、この柔軟関節構造を用いた移動マニピュレータシステムの製作を行っている。製作システムでは、マニピュレータを設置している台座への柔軟機構の組み込みと、移動システムへの柔軟構造の組み込みを独立に行い、位置制御、

力制御への影響を抑えるための制御補償を付加することで、柔軟機構による安全性の向上と同時に制御性能の維持をはかる。実際に製作を行った柔軟機構組入れの枠組み構造（左）とロボットアームへの設置（右）を図10に示す。現状では、製作したシステムを用いて反力推定に基づいた位置・力制御の基本特性について検証を行っている。

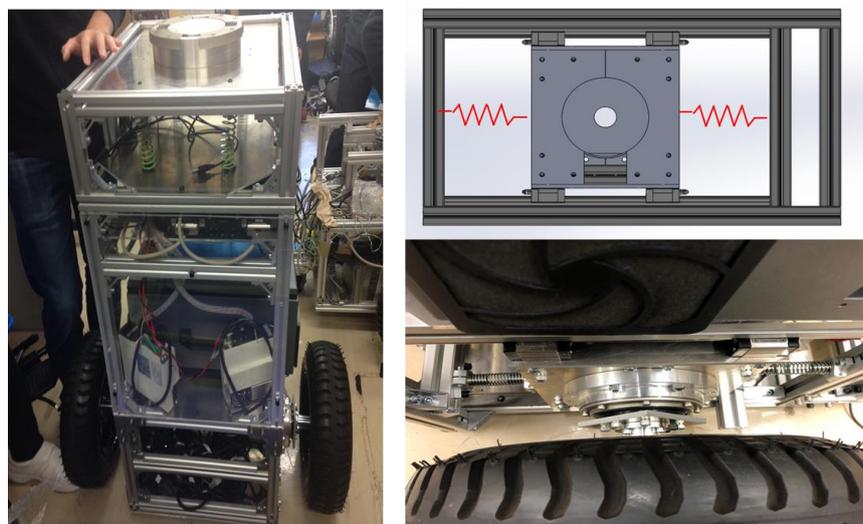


図11：移動機構の全体写真（左），柔軟機構の拡大写真および

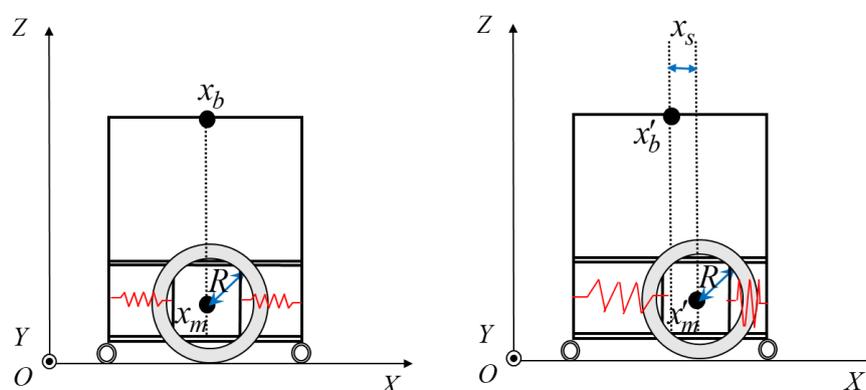


図12：柔軟機構を有する移動システム（左：停止時，右：移動時）

図11にばね機構を導入した移動機構の実機写真を示す。また、そのモデル図を図12に示す。制御器の設計にあたっては、停止時と移動時に分けてモデル化を行った。モデルに基づいた制御システムの全体図を図13に示す。

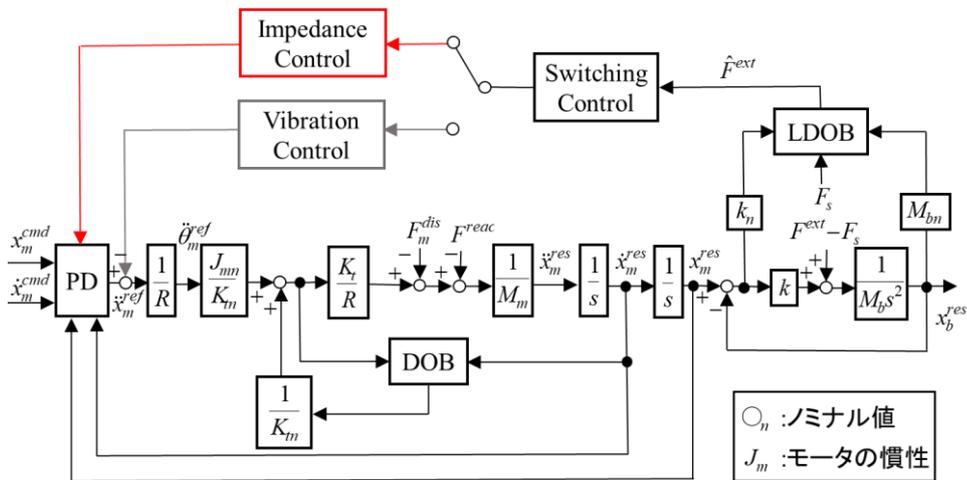


図13：制御システムの全体図

・ 高感度力制御の実現

図8に示した制御系に基づいて衝撃緩和のシミュレーションを行った。その結果を図14に示す。シミュレーション結果より、ばね機構を有する移動マニピュレータにおいては衝突時の衝撃が適切に緩和されることが分かる。

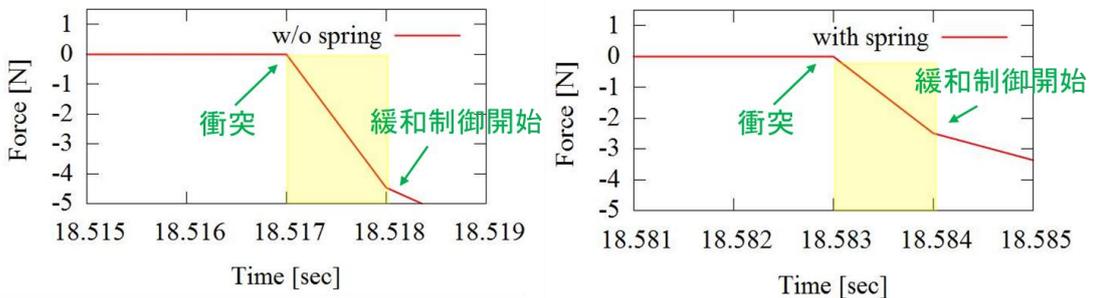


図14：衝突緩和のシミュレーション

・ 位置制御，力制御の切り替えアルゴリズム

図13に示した制御系に基づいて衝撃緩和と位置制御に関する切替動作のシミュレーションを行った。外力情報に基づいて判別を行っており，推定外力が十分に小さい場合には移動ロボットの走行安定性を向上するための振動抑制制御を実現し，比較的大きな外力が作用する場合には，外力に倣った力制御を適用する。図15にそのシミュレーション結果を示す。シミュレーション結果より，衝突時に外力に対して位置応答が適切に修正され，衝撃が緩和されていることが分かる。

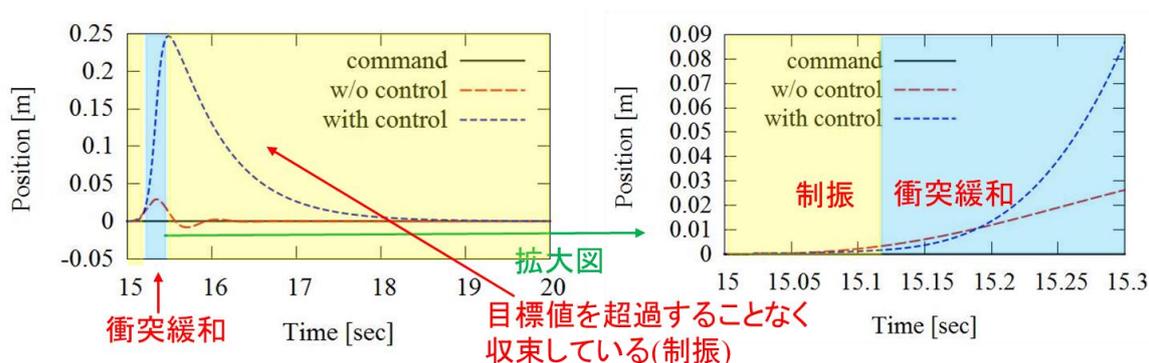


図15：位置と力の切替制御のシミュレーション

(関連発表論文：事業内容に関連しているが、過去の研究成果に準じた発表となっているため、(1)、(2)についてはJKAの謝辞記載が含まれていません。)

(1) H. Kimura, R. Mori and T. Murakami, “Analysis and Evaluation of Fall Prevention Assist Related with the Angle of Trunk”, The 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2017), pp8255–8260, 2017 (4月投稿, 10月発表済)

(2) 小笠原啓太, 村上俊之, ”カルマンフィルタを用いたIMUによる歩行動作解析”, 平成29年電気学会産業応用部門大会, pp(II-67)–(II-70), 2017 (5月投稿, 8月発表済) .

(3) Y. Nakamura, T. Nozaki and T. Murakami, “Automated Deceleration System Considering Driving Resistance Based on Pedestrian’s Forecast Position, IEEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, V3-1, 2018. (3月発表)

### 3 事業の実施状況表

事業項目 (段階)	期・月別		上半期						下半期					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3		
① 人の動作モデルに基づいた機能性着衣の開発	(予定)													
・ COM, ZMP推定に基づいた最適把持箇所の設定	(実績)		(予定)											
・ 機能性着衣の機構設計			(実績)							(予定)				
・ 機能性着衣の検証実験										(実績: 次年度継続)				
② 多自由度移動ロボットの開発					(予定)									
・ ばね機構を利用した摩擦補償の高精度化					(実績)									
・ 高感度力制御の実現								(予定)						
・ 位置制御, 力制御の切り替えアルゴリズム								(実績)		(予定)				
										(実績: 次年度継続)				