

ロボット開発工学 定期試験 ① 水1 熊谷正朗 すべて持込可 60分									
学生番号					学年				
氏 名									
日 時					教室(多)				

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
学生番号	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	X	Y
学生番号	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

1

ロボットの機構部分は開発の成否に大きく影響する。特にどのような力がかかるかの見積は重要である。設計に必要な主要な力である **重力と慣性力**の計算について、**関連する事項**も含めて、図と数式を交えて述べよ。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9									
学 生 番 号	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9									

- 1

ロボットに用いられるような、4種類の系統の異なる材料について、「材料的性質」
「その材料が適する用途と根拠」を各々述べよ。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

[illegible]

- 1

なお、【】中のキーワードを各文中に必ず用いること。

- (1) 作用する力と速度の見積 **【重力、慣性力、台形加減速、慣性モーメント、直線運動】**
- (2) モータに要する動力の見積 **【W(ワット)、効率、摩擦】**
- (3) モータの選定 **【電源、コスト、質量、定格回転速度、定格トルク】**
- (4) 減速機構の決定 **【減速比、直動、バックドライバビリティ】**

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

ロボット開発工学 定期試験 ① 水2 熊谷 書籍ノートプリント電卓他可 60分									
学生番号					学年				
氏 名									
日 時					教室(多)				

- 1

なお、【】中のキーワードを各文中に必ず用いること。（順番は問わない）

- | | |
|-------------|----------------------------------|
| (1) 慣性力 | 【加速度、台形加減速、慣性モーメント、面積】 |
| (2) 慣性モーメント | 【軸、重心、モータ等の設置位置、円柱】 |
| (3) 重力 | 【質量、密度、関節軸の方向、宇宙(衛星軌道)、たわみ(たわむ)】 |
| (4) 摩擦力 | 【静摩擦係数、方向、車輪、速度】 |

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・「確」には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

- (1) 制御設定などで調整できる範囲では性能がすでに限界に達しているロボットがあるとする（必要なら水平多関節：SCARAロボットを想定する）。このロボットの動作速度（2点間の移動時間で規定）を2倍のように指示された。どのような改良をすればよいか。
- (2) 工場内で動作する自動搬送車を開発したい。仕様は、移動速度は1m/s（人の歩く程度）、荷物込みの総質量は1000kg、非常停止は1秒以内であり、予め何らかのラインを引いておいてそれにたどって走行するとする。どのような設計をすればよいであろうか。

[illegible]

- 1 ロボットメカトロ機器の開発に関する以下の事項について、図、数式、具体的な数値等を交えて詳細に検討し、述べよ。不足する仕様があれば適切に追加すること。

- (1) 質量50kgの車輪移動ロボットを開発するとする。このロボットは最大速度2[m/s]で走行し、最大で50kgの荷物を積み、最大で斜度10度の傾斜路を走行できるとする。同最大(最悪)の条件でも加速度2[m/s²]で加減速できるものとしたときに、モータに要求される出力は何[W]か。ただし、路面は平滑で速度も速くはないので、走行抵抗と空気抵抗は考慮しなくとも良いとし、車輪の摩擦係数は滑らない程度に十分高いとする。
- (2) 重量2,000[kg]の自動車を持ち上げて、底面の検査をするためのジャッキをつくりたい。高さは下に入って検査する担当者の使いやすいように、あらかじめ設定した高さ、および手元のリモコンで5[mm]単位で調整できるようにしたい。どのような設計とすればよいか。なお、安全性にも配慮すること。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

ロボット開発工学 定期試験 ① 水2 熊谷 書籍ノートプリント電卓(ブ)可 60分	
学生番号	学年
氏 名	
日 時	教室(多)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

学生番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0

 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y

+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0

- 1 ロボットメカトロ機器の開発に関する以下の事項について、図、数式、具体的な数値等を交えて詳細に検討し、述べよ。不足する仕様があれば適切に追加すること。

- (1) 質量1000[kg]のエレベータを1[m/s]の速度で上昇させる。台形加減速を想定し、加速度を1[m/s²]とした場合に、(a)必要な引き上げの力、(b)メカの効率を50[%]とした場合にモータに要求される出力動力を求めよ。ただし、簡単のため、釣り合い錘はないとする。
- (2) 同エレベータを直径400[mm]のプーリで駆動するとして(つまりプーリ外周速度が1[m/s]となる)、定格1500[rpm]のモータで駆動するには、減速比はいくらとなるか。
- (3) 装置の安全性のために必要なことについて、機械的な面とセンサ的な面から論じよ。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

ロボット開発工学 定期試験 ① 水2 熊谷 書籍ノートプリント電卓(ブ)可 60分	
学生番号	学年
氏 名	
日 時 8/2 2コマ 教室(多) 521	

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

学生番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y

+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0	0

- 1 ロボットメカトロ機器の開発に関する以下の事項について、図、数式、具体的な数値等を交えて詳細に検討し、述べよ。不足する仕様があれば適切に追加すること。

(1) 仙台市地下鉄東西線の1編成は車両のみで約110トンあり、乗客を乗せて120トンと仮定する。青葉山の最大斜度は57[%] ($\tan \theta = 0.057$) である。最高運転速度約20[m/s]、最大加速度は約1[m/s²] とされるが、最大斜度区間でこの性能を実現するためには、どれだけのリニアモータ出力[kW]が必要となるか。計算せよ。

(2) 各部の強度などを設計する場合に、重力の影響が最も大きい事例がしばしば見られる。その理由を、慣性力を含む作用する力とその計算要因について述べることで、説明せよ。

試験中補足(1): 空気抵抗は無視するものとする

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

ロボットメカトロ機器の開発に関する以下の事項について、図、数式、具体的な数値等を交えて詳細に検討し、述べよ。不足する仕様があれば適切に追加すること。

- (1) 車輪移動型のロボット（ロボットに限らず機械全般）では、駆動輪の位置と全体の質量分布の関係、および全車輪の位置関係や接地状態が重要である。なぜか。
- (2) 機械の直動する部分で、500[mm]の区間を1[s]で往復するような動作をさせたい。どのような速度パターンにすればよいか、具体的に検討し、数値込みの速度の時間変化を示せ。なお、現実的に妥当な加減速動作を含めること。また、必要なら機構を図示せよ。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

ロボット開発工学 指定試験 ① 水2 熊谷 書籍ノートプリント電卓(プ)可 60分	
学生番号	学年
氏 名	
日 時 7/31 2コマ 教室(多) 523	

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

学生番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y

+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0	0

- 1** ロボットメカトロ機器の開発に関する以下の事項について、図、数式、具体的な数値等を交えて詳細に検討し、述べよ。不足する仕様があれば適切に追加すること。

単位も明記すること。

- (1) ロボット等の長さ方向の構造を作るために、丸パイプ、長方形(含む正方形)断面、およびH字断面(建物の鉄骨などにも見られる)を比較したい。断面積(≒長さ当たり質量)および外寸(直径や断面の縦横寸法)が概ね等しいという条件で、**各々の主要な利点と欠点を一つずつ**、どのような観点で利点欠点であるかの**説明とともに**あげよ。
- (2) 車輪移動ロボットの加速性能は複数の要因で制限を受ける。たとえば、モータの出せる推力と全体質量の大きさは決定要因の一つである。ほかに**二つ以上**挙げて具体的に説明し、その**制限を緩和**する(加速度上限を上げる)方法について述べよ。

- ・必要なら、明記の上で、裏面を使用のこと。

ロボット開発工学 定期試験 ② 担当：熊谷正朗 すべて持込可	
学生番号	学年
氏 名	
日 時	教室(多)

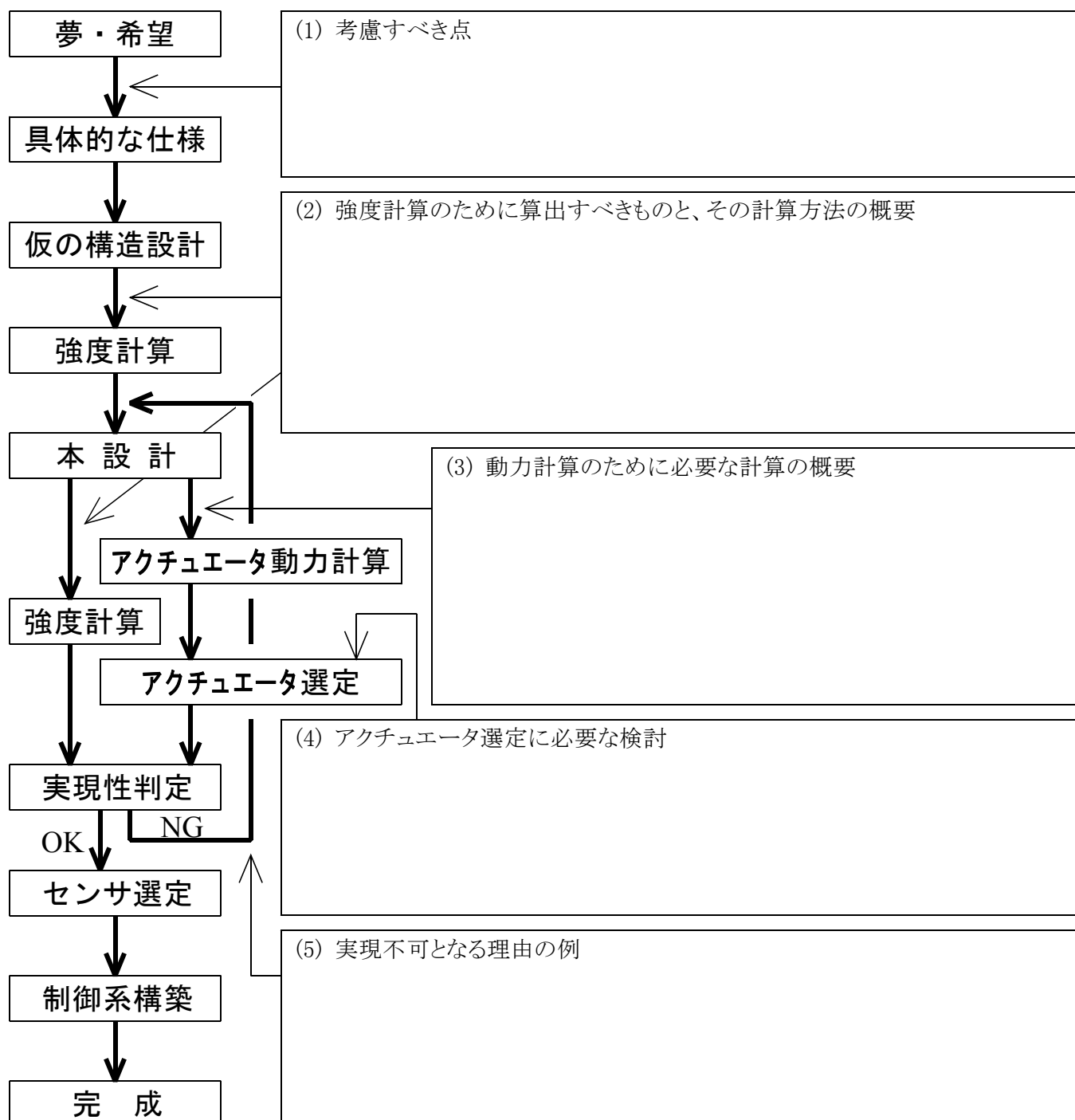
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y
学 生 番 号	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 +	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
確	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2 +	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
			0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

2

以下はロボット開発のプロセスの一例である。枠内に適切に論述せよ。

※枠が不足する場合は、適宜明記の上で裏面を使用のこと。



ロボット開発工学 定期試験 ②	
水1 熊谷正朗 すべて持込可 60分	
学生番号	学年
氏 名	
日 時	教室(多)

	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y
学 生 番 号	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	+	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
確	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	X	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9		

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

2

ロボット開発に関わる以下の要素の選定について、選定方法を述べよ。必要なら数式などを併用すること。(必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度)

(1) 機構の種類(XYZ型、腕型、移動型など)

(2) 材料

(3) アクチュエータ

(4) 減速機(減速装置)

(5) センサ

[illegible]

- 2

ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。（必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度）

(1) ウォーム減速機 (ウォームギア)

(2) 断面2次モーメント

(3) 交流(AC)サーボモータ (図、数式不要)

(4) 効率

(5) 台形加減速

		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																			
学 生 番 号		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																			
		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	X		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																			

- 2

ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。（必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度）

(1) 直線運動と回転運動の運動方程式

(2) BMD(曲げモーメント図)

(3) SS400の特性(図、数式は不要)

(4) 光センサ（産業用のスイッチとしての動作、用途など）

(5) 摩擦力(静摩擦力、動摩擦力)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9										0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y																			
学 生 番 号	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9										0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y																			

- 2

(5) 動力と電力

		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																					
学 生 番 号		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y											
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																					

- 2

ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。（必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度）

(5) 光電スイッチと近接センサ(金属探知センサ)

		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																					
学 生 番 号		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y											
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
確	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9																					

- 2

(5) SS400の特性(図、数式は不要;具体的な数値は必要;レポート課題より)

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。（必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度）

(5) 近接センサとその有意性(産業機器用;図、数式は必須ではない)

170802

本試験紙は2枚綴り。綴じをばらさないこと。

汚さないこと

ロボット開発工学 定期試験 ②

水2 熊谷 書籍ノートプリント電卓(プ)可 60分

学生番号

学年

氏 名

日 時 8/2 2コマ 教室(多) 521

学生番号

確

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 X Y

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

2 ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。(必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度)

- (1) 材料力学における重ね合わせの原理
- (2) 断面2次モーメント
- (3) 慣性モーメント
- (4) 曲げモーメント・BMD
- (5) アナログデジタル変換

[illegible]

- 2

(5) アルミ合金(図、数式は不要)

- ・2枚とも氏名等を記入し、学生番号(縦に7桁)をマークすること。右枠はマークしないこと。
- ・[確]には学生番号の各桁の数字をバラして足したものの1の位をマーク 例 9941100→計24→4

ロボット開発に関わる以下の要素・特性について、定義、説明、性質、用途などを図や数式を併用して具体的に述べよ。（必要なら明記の上、裏へ。目安は枠が埋まる程度）

(5) 効率(アクチュエータ・機構)