

ロボット工学

第8回 関節座標系の位置制御

福岡工業大学 工学部 知能機械工学科
木野 仁

- 本ファイルで提供されるコンテンツの著作権は、木野仁、谷口忠大、峰岸桃、(株)講談社にある。
- 本ファイルは、著者らに利用承諾書を提出し、許可されたものだけに限り使用してよい。ファイルを修正しても構わないが、印刷、ネット上で公開、二次配布は禁止する。また、無断で販売することを禁止する。

Information



- このスライドは「イラストで学ぶロボット工学」を講義で活用したり、勉強会で利用したりするために提供されているスライドです。
- 「イラストで学ぶロボット工学」をご購入頂けていない方は、必ずご購入いただいてからご利用ください。



STORY 関節座標系の位置制御

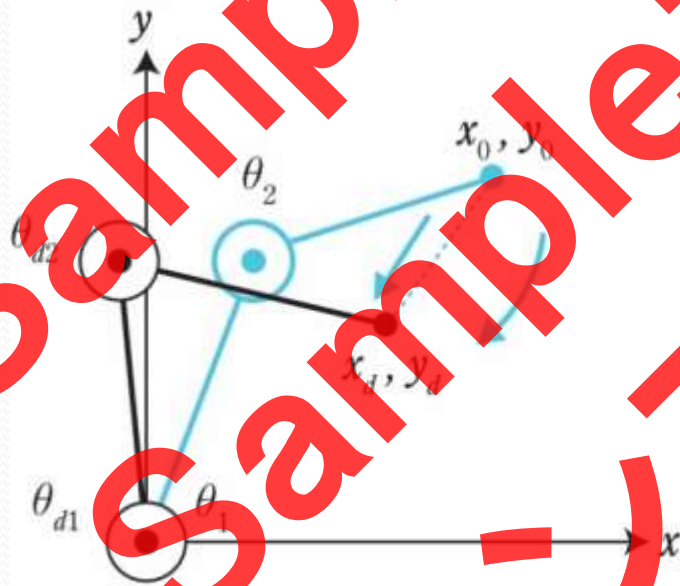
- ホイールダック2号がついに家庭で活躍する 때가やってきた。未来都市ハカタに住む少女ホノカは、ホイールダック2号が家にくるのを今か今かと待っていた。玄関で待つホノカのところへ、ホイールダック2号がやってきた。
- ホノカ「いらっしゃい！よろしくね！」ホノカが握手しようと差し出す右手の位置に、ホイールダック2号は手を伸ばそうとした。その瞬間、「ズドッ！」ホノカの腹部にホイールダック2号の手先が勢いよく打ち込まれた。ちょっと手を伸ばしすぎてしまったようだ。
- 運動学で最終的な腕の角度がわかっても、手先が行き過ぎることなくスッと目標位置へうまくもっていけるかどうかは別の問題なのである。
- そう、ホイールダック2号はマニピュレータ（ロボットアーム）の制御方法を知らなかったのだ。



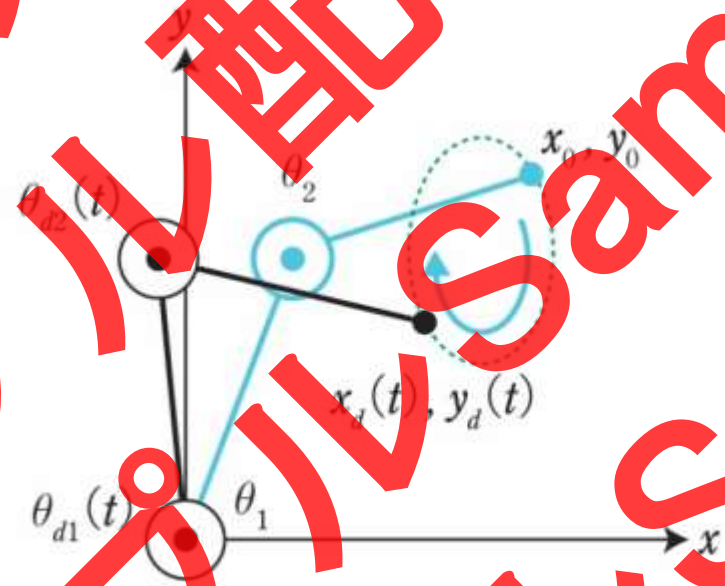
Contents

- 8.1 PTP制御と軌道制御
- 8.2 関節座興系PD制御
- 8.3 重力補償
- 8.4 PTP制御を用いた簡易的な軌道制御

- マニピュレータの手先位置制御は、その運動に着目すると大まかに2つに分類することができる。それがPTP制御と軌道制御である。
- PTP制御とはPoint-To-Point制御の略である。手先位置のある点から目標点へと制御する。
- 軌道制御は、手先の目標軌道が時間関数として与えられ、それに追従するように運動させる制御方法である。



(a) PTP 制御 (点から点への制御)



(b) 軌道制御 (目標軌道への制御)

Contents

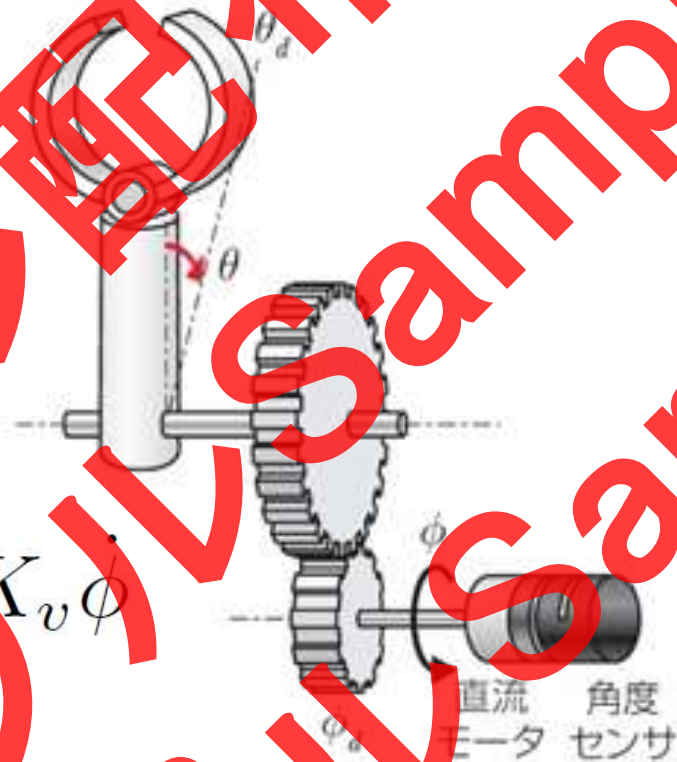
- 8.1 PTP制御と軌道制御
- 8.2 関節座興系PD制御
- 8.3 重力補償
- 8.4 PTP制御を用いた簡易的な軌道制御

8.2.1 PD制御を用いた1リンク1関節システムのPTP制御

- 目的は、「ホイールダック」号の1リンク1関節マニピュレータの関節角度を目標の関節角度にする」ことである。これは「アクチュエータの軸角度を目標の軸角度に制御にする」と等価と考える。重力の影響は考えない。
- 回転のバネとダンパの概念を用いて、PD制御の式をプログラミングし、実行することで、1リンク1関節システムの関節角度のPTP制御が可能となる。



$$\tau = K_p(\phi_d - \phi) - K_v\dot{\phi}$$





8.2.2 PD制御を用いた2リンク2関節システムのPTP制御

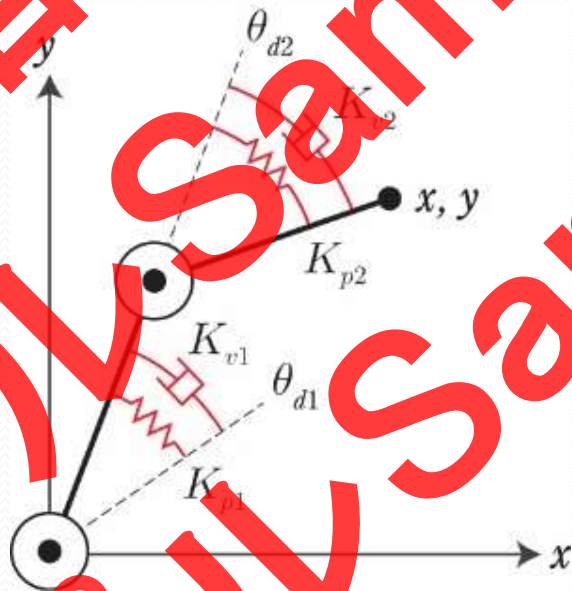
- 手先位置を目標位置にPD制御を用いてPTP制御させることを目的とする。重力の影響は無視し、目標位置は定点とする。
- 一般的な記述を目的に、制御式を関節トルクと関節角度の式として与える。
- 目標値を目標手先位置から逆運動学を介して得られた関節角度としたうえで、各関節ごとにPD制御を行う。このような制御を関節座標系PD制御という。

目標手先位置(x_d, y_d)

目標関節角度(θ_{d1}, θ_{d2})

逆運動学

$$\begin{cases} \tau_1 = K_{p1}(\theta_{d1} - \theta_1) - K_{v1}\dot{\theta}_1 \\ \tau_2 = K_{p2}(\theta_{d2} - \theta_2) - K_{v2}\dot{\theta}_2 \end{cases}$$



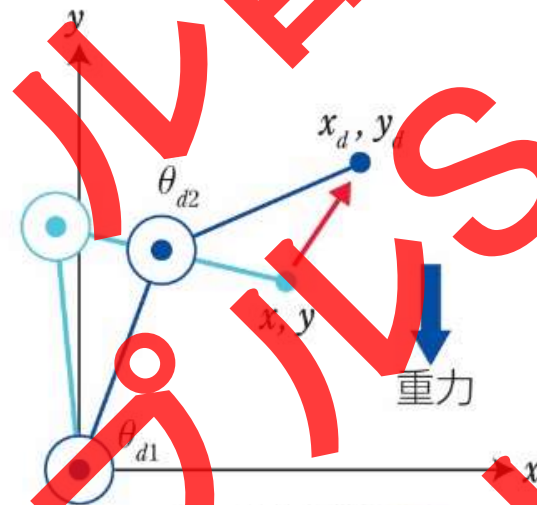
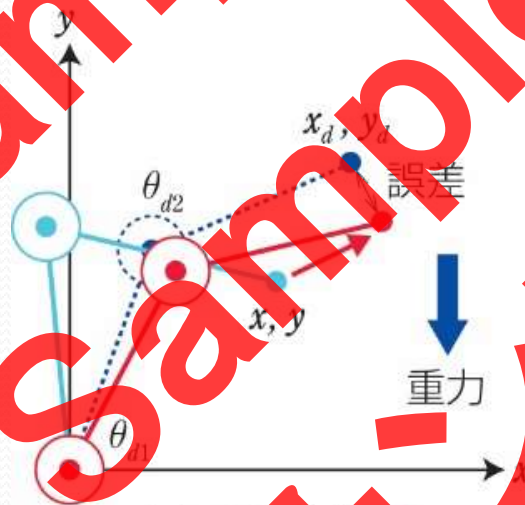
Contents

- 8.1 PTP制御と軌道制御
- 8.2 関節座興系PD制御
- 8.3 重力補償
- 8.4 PTP制御を用いた簡易的な軌道制御

8.3.1 重力の影響による誤差

- これまでの手先位置制御の例では、重力の影響を無視し説明してきた。しかし、実際には重力の影響を無視できないことも多い。
- PD制御を行った場合、各関節角は重力の影響を受ける。最終的に収束する関節角は目標角度からずれ、関節角のPD制御のバネ要素と重力がつり合ったところで静止する。

重力の影響がある場合は、重力補償を関節トルクに加えることで影響を相殺する

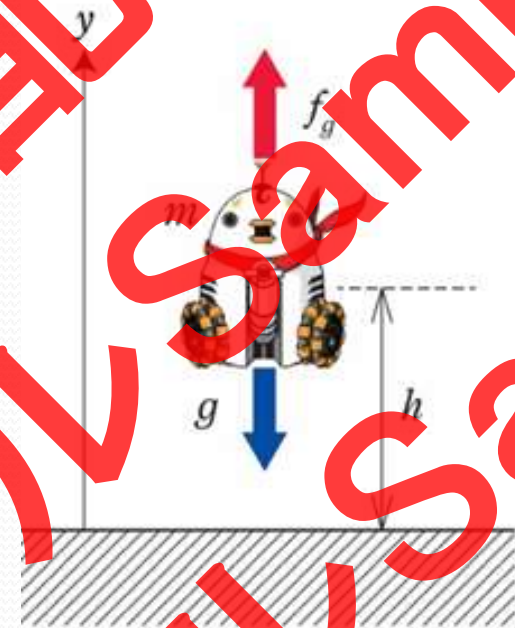


8.3.2 1リンク1関節システムの場合の重力補償

- 制御式に重力を補償する項を加え、重力を相殺することを検討する。このように重力の影響を打ち消すことを**重力補償**という。
- 図の例では、重力のポテンシャルエネルギー U を変位 y で微分することで、重力補償に必要な力 f_g を計算できる。

$$U = \int_0^h mg dy = [mgy]_0^h = mgh$$

$$f_g = \frac{dU}{dy} = mg$$

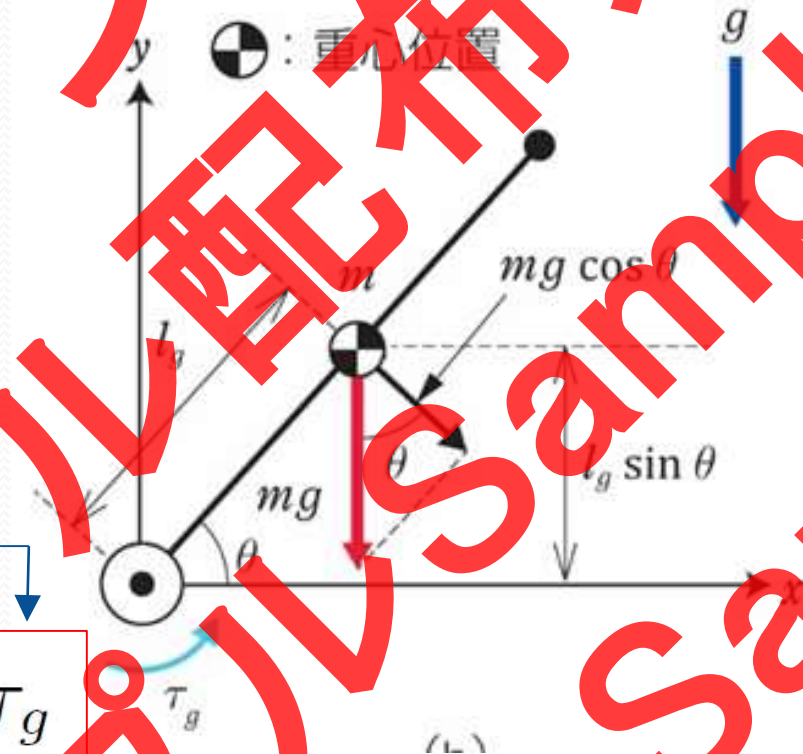


- 図の例では、重力のポテンシャルエネルギー U を変位 θ で微分することで、重力補償に必要なトルク τ_g を計算できる。
- 実際に位置制御を行う場合には、制御式に重力補償するトルクを加えればよい。

$$U = mgl_g \sin \theta$$

$$\tau_g = \frac{dU}{d\theta} = mgl_g \cos \theta$$

$$\tau = K_p(\theta_d - \theta(t)) - K_v\dot{\theta} + \tau_g$$



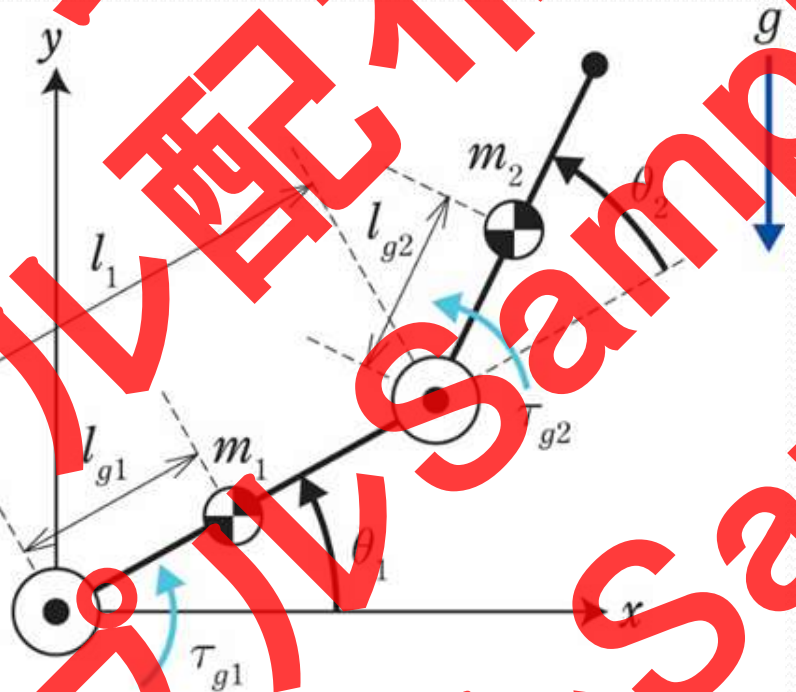
8.3.3 2リンク2関節システムへの重力補償の拡張

- 全ポテンシャルエネルギーを各関節角度で偏微分することで、各関節の重力補償トルクを計算できる。
- 各関節の重力補償トルクを制御式に加えることで、重力の影響を取り除くことができる。

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = m_1 g l_{g1} \sin \theta_1$$

$$U_2 = m_2 g (l_1 \sin \theta_1 + l_{g2} \sin(\theta_1 + \theta_2))$$



- 各関節の重力補償トルクを制御式に加えることで、重力の影響を取り除くことができる。

$$\tau_{g1} = \frac{\partial U}{\partial \theta_1} = m_1 g l_{g1} \cos \theta_1 + m_2 g (l_1 \cos \theta_1 + l_{g2} \cos(\theta_1 + \theta_2))$$
$$\tau_{g2} = \frac{\partial U}{\partial \theta_2} = m_2 g l_{g2} \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\begin{cases} \tau_1 = K_{p1}(\theta_{d1} - \theta_1) - K_{v1}\dot{\theta}_1 + \tau_{g1} \\ \tau_2 = K_{p2}(\theta_{d2} - \theta_2) - K_{v2}\dot{\theta}_2 + \tau_{g2} \end{cases}$$

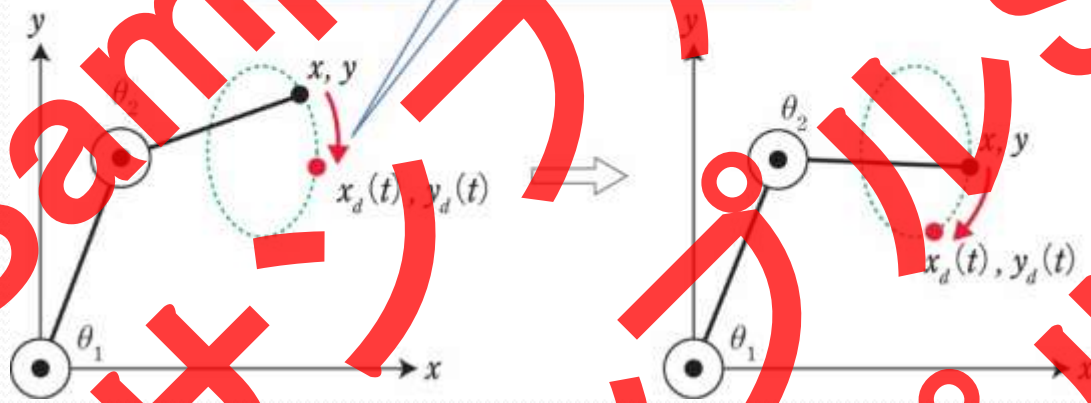
Contents

- 8.1 PTP制御と軌道制御
- 8.2 関節座興系PD制御
- 8.3 重力補償
- 8.4 PTP制御を用いた簡易的な軌道制御

• PTP 制御の目標位置を複数用意して、これを順番に切り換えることで、簡易的な軌道制御が可能となる。

• この方法では、誤差がなければ関節トルクが生じないため、目標軌道に完全に一致することはありえない。

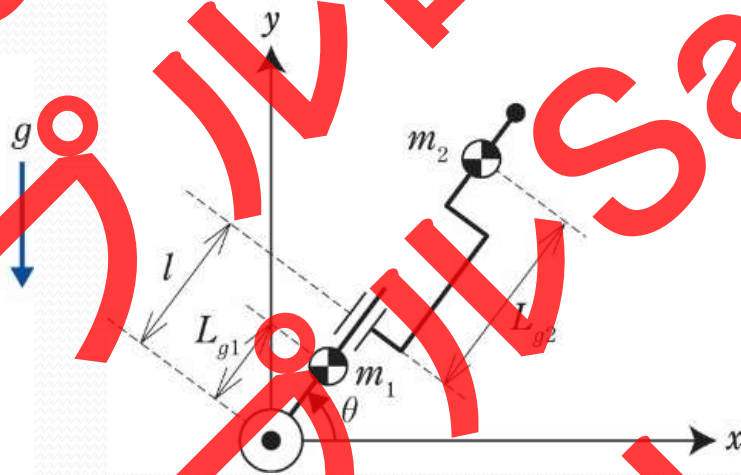
$$\begin{cases} \tau_1(t) = K_{p1}(\theta_{d1}(t) - \theta_1(t)) + K_{v1}(\dot{\theta}_{d1}(t) - \dot{\theta}_1(t)) + \tau_{g1}(\theta_1(t)) \\ \tau_2(t) = K_{p2}(\theta_{d2}(t) - \theta_2(t)) + K_{v2}(\dot{\theta}_{d2}(t) - \dot{\theta}_2(t)) + \tau_{g2}(\theta_2(t)) \end{cases}$$



章末問題

③ 図 8.10 のようにホイールダック 2 号が角度 θ の坂道の上に存在する。ホイールダック 2 号が静止するように力 f を与えたい。このときに必要な力 f を計算せよ。ただしホイールダック 2 号の質量は m とする。

⑥ 図 8.11 に示すような直動 1 自由度と回転 1 自由度をもつマニピュレータがある。各関節の重力補償を計算せよ。



第8章のまとめ

まとめ

- ・ PTP 制御は手先位置の目標点への制御であり、軌道制御は手先位置の目標軌道への追従制御である。
- ・ マニピュレータの関節座標系 PD 制御法では、逆運動学を用いて目標手先位置に対応した目標関節角度を計算し、各関節で PD 制御を行う。
- ・ 重力補償はポテンシャルエネルギーを変位で微分（偏微分）することによって計算できる。
- ・ PTP 制御において、目標点を複数設定することで簡易的な軌道制御が可能となる。ただし、この方法では目標の軌道に完全に一致させることは不可能である。