

ロボットの科学技術 (遠隔配信版)



マニピュレータの力の制御

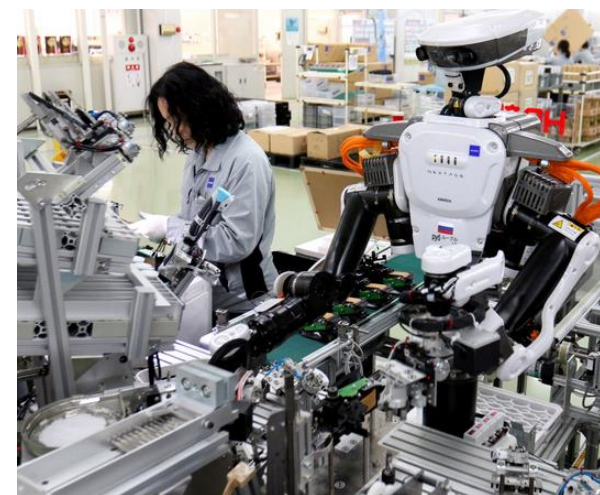
担当：三上貞芳

研究棟607室, s_mikami@fun.ac.jp

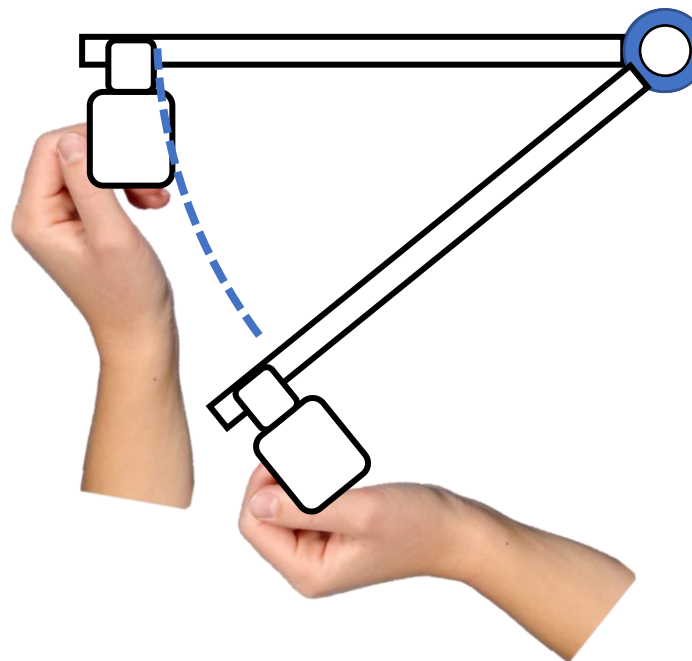
授業サイト<http://hope.c.fun.ac.jp/>

日常の多くの作業は力制御

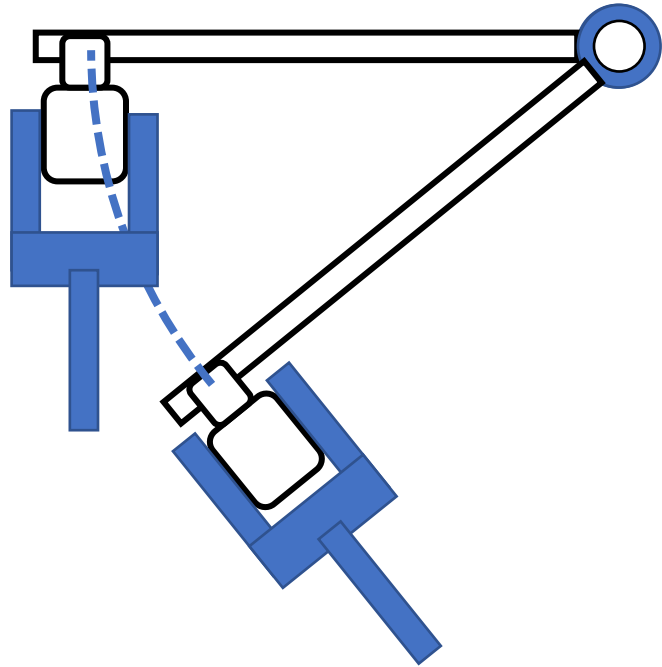
- 目をつぶってドアを開けられる理由
 - 位置制御は行っていない
 - 開く方向に力を制御している
- 日常の多くの作業は，力を制御する問題
- 工業応用は位置制御問題
 - たとえば箱を積むなど



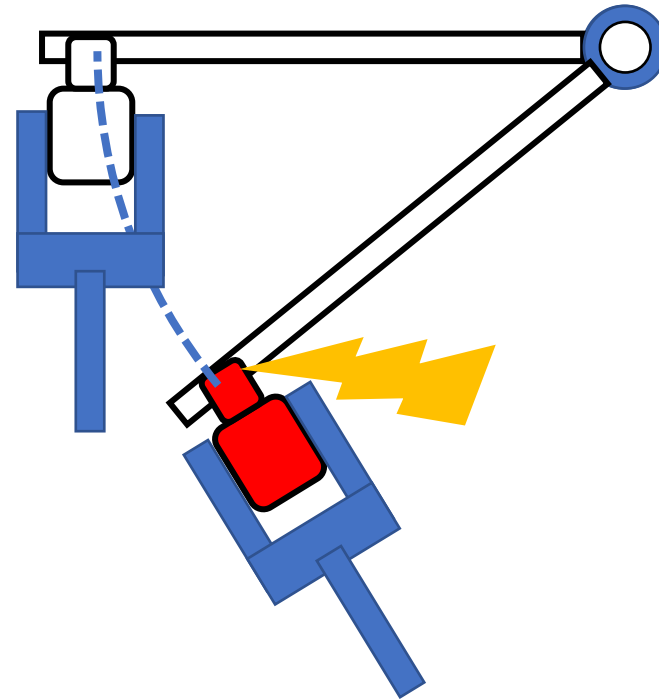
ドアを開ける作業



ドアを開ける作業

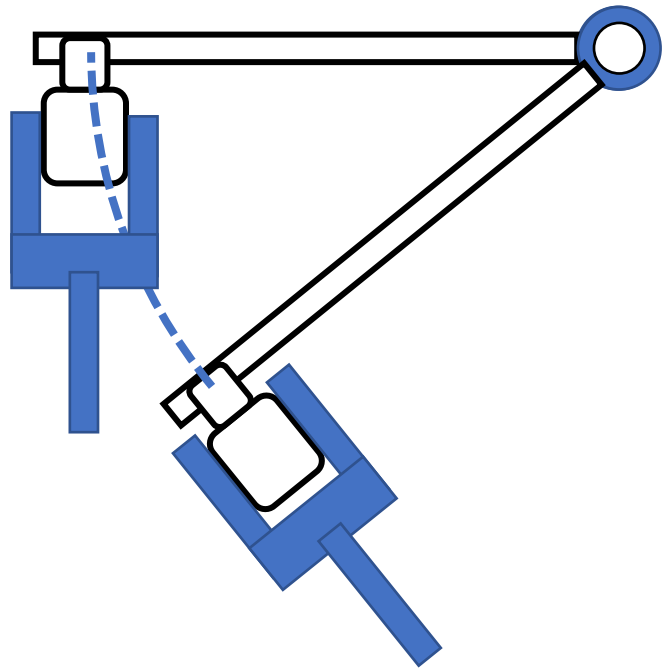


ちょっとでも曲げ角度が異なると

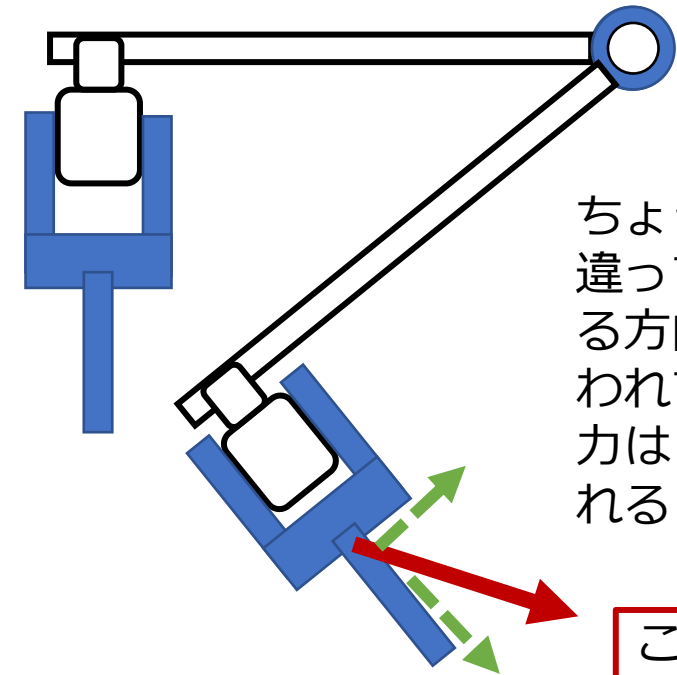


根元からぼっきり

ドアを開ける作業→位置ではなく、力を制御している



曲げ角度が異なると



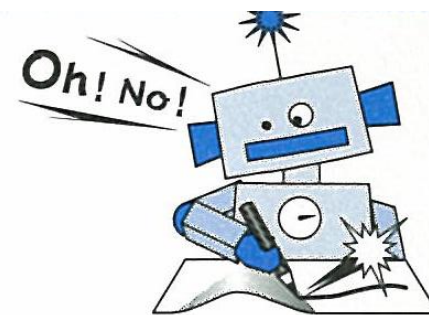
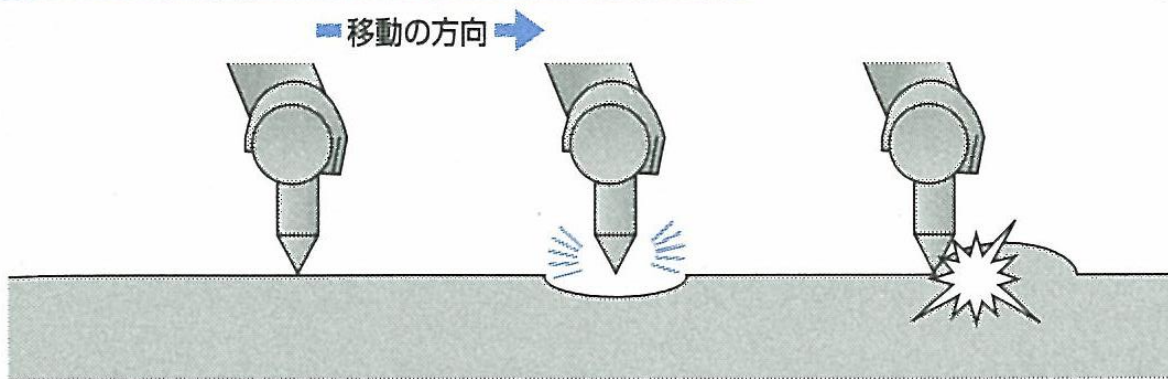
ちょっと向きが違っても、回る方向の力のみ使われて、その他の力はドアで吸収される

この力の向きと大きさをロボットに指示

力を与える制御なら、回る方向以外の力はドアで支えられる

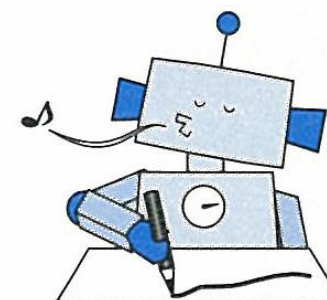
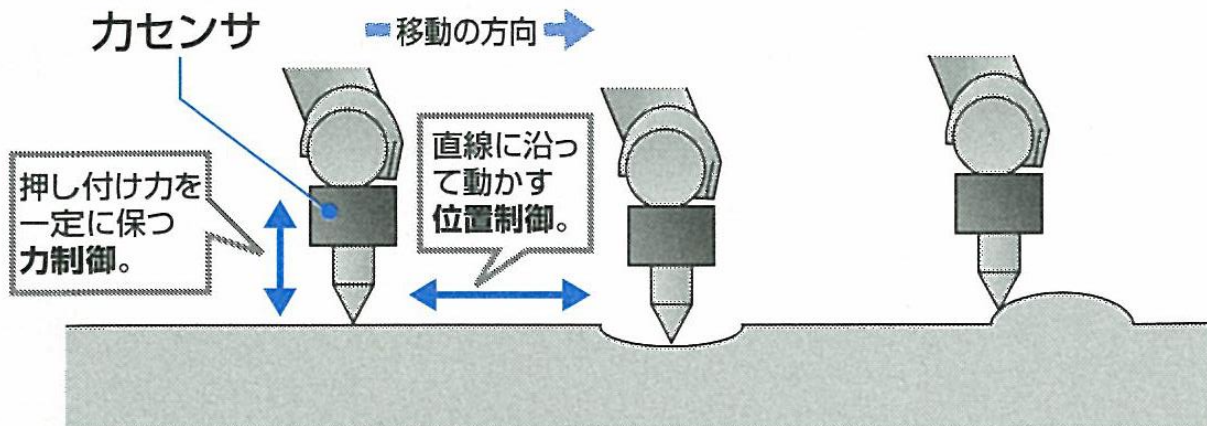
力制御：ハンドの先端に加える「力」を維持させる

位置制御による直線描きの問題点



凹凸があると、正しく線が描けない。

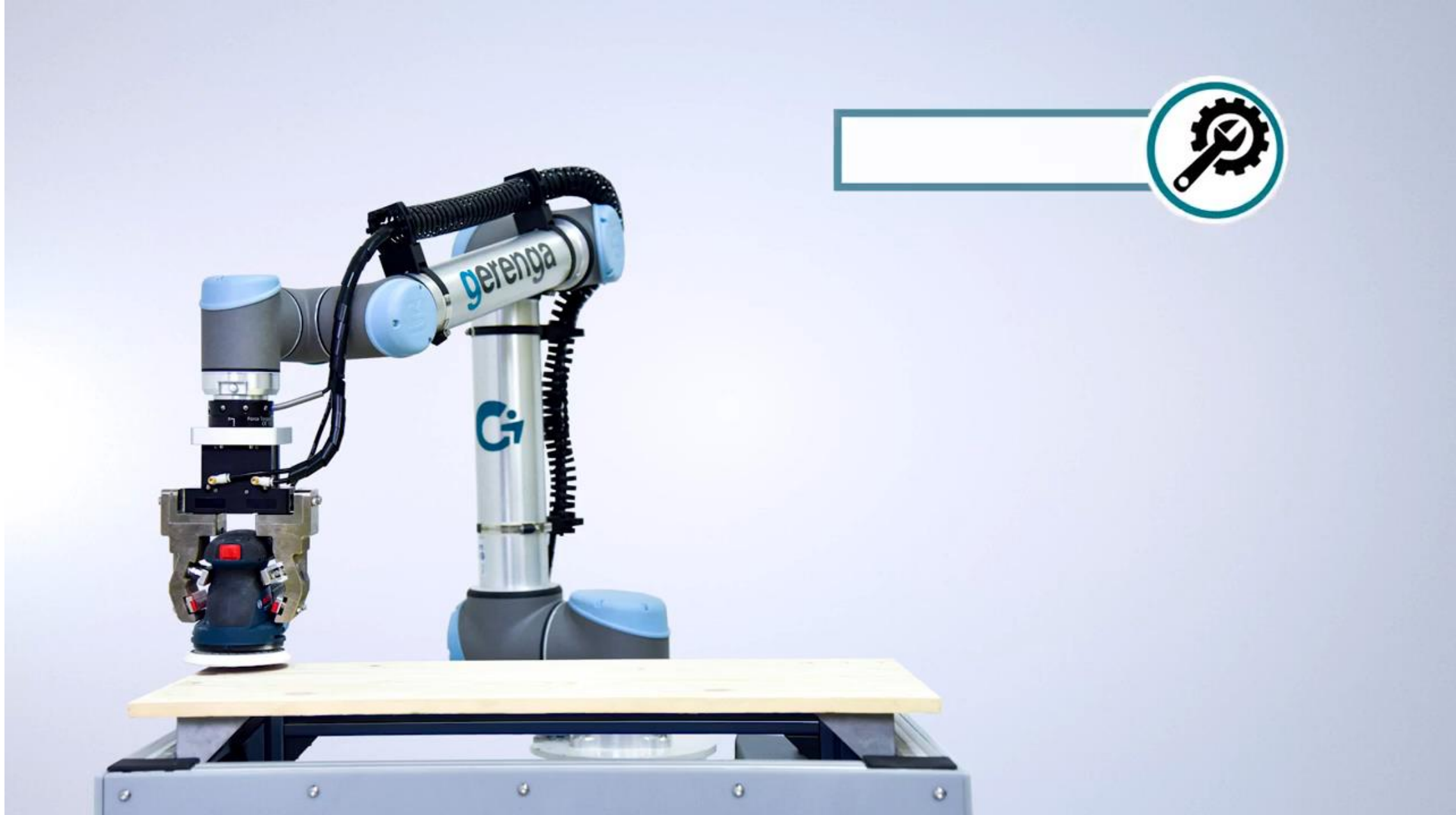
力制御による直線描き



力が一定になるように、凹凸に応じて上下させる。

力制御が必要な例：一定の力を付加する作業

- ロボットによるグラインディング（表面削り）作業．表面を押しつける力を一定に保つ必要があるため，位置制御だけでは不可能
- Universal Robots “Force Control Surface Grinding” (Gerenga社)
- <https://youtu.be/10leB4-lp7g>

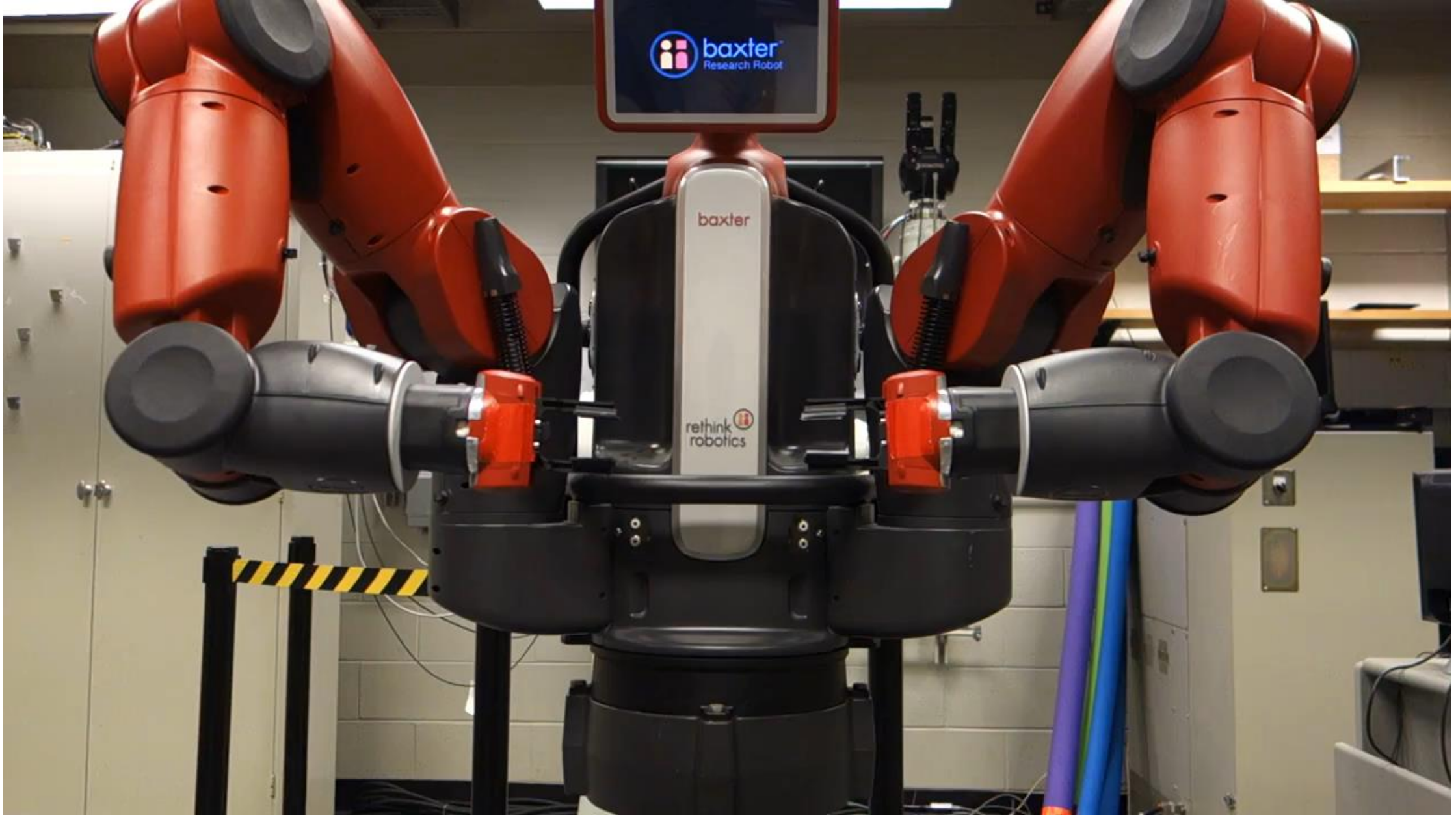


<https://youtu.be/10leB4-lp7g>

Universal Robots “Force Control Surface Grinding”

力制御が必要な例：双腕ロボットによる 協調作業

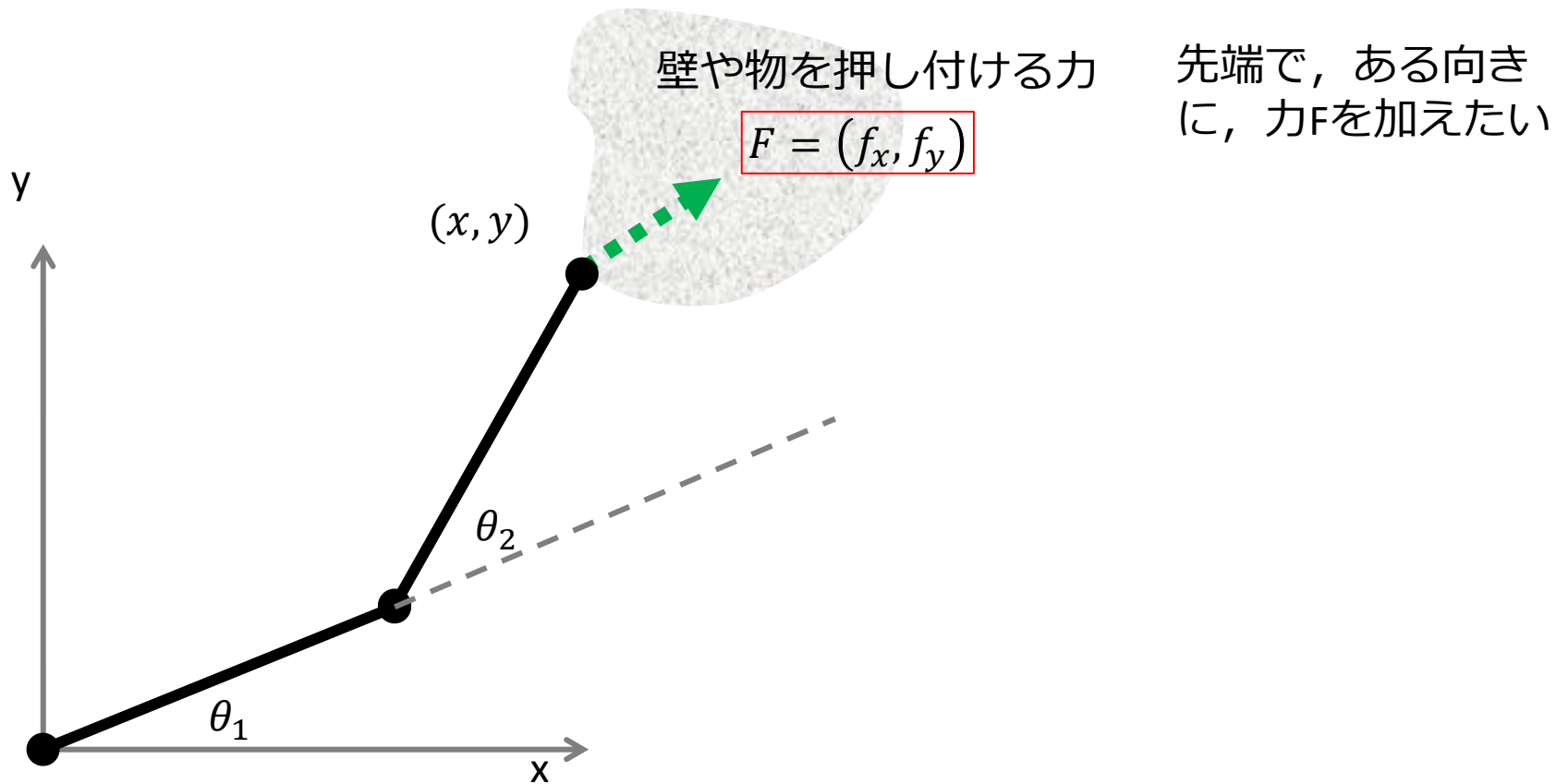
- 2つのアームで薄い板を把持して移動するデモ。もし位置を制御するなら、2つのアームのわずかな位置のずれで板は曲がってしまう。ここでは板を両側から挟む力を制御しているので、位置の誤差は力の制御によって補正され、人のような作業が行える
- （実際には後で説明する、力制御の拡張であるコンプライアンス制御を用いている）
- Baxter coordinated dual-arm force control
- Rethink Robotics社（倒産）
- https://youtu.be/28yy_zsDZ8s



https://youtu.be/28yy_zsDZ8s

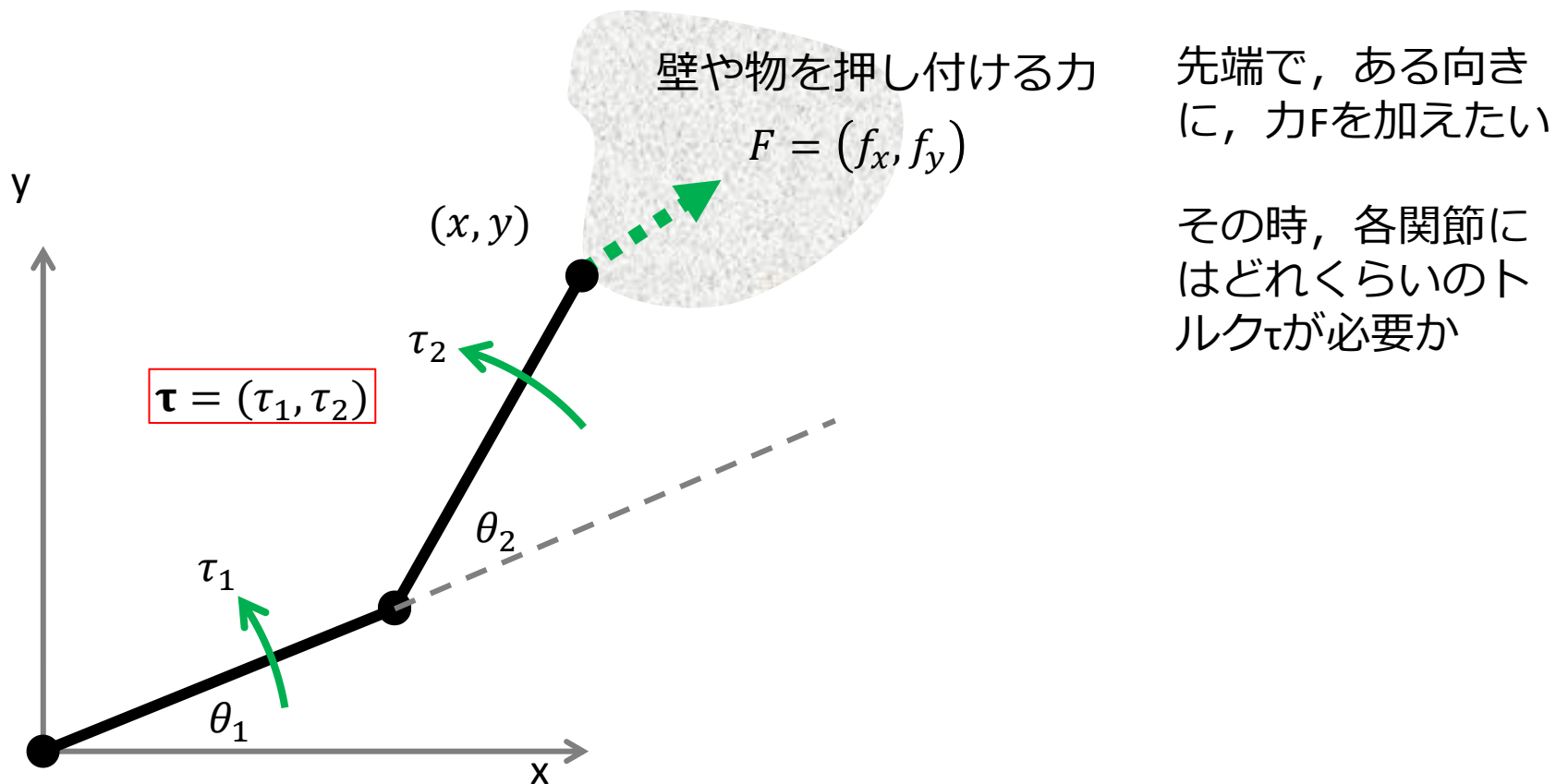
Baxter coordinated dual-arm force control

関節に与える力（トルク）と手先の力の関係を計算する



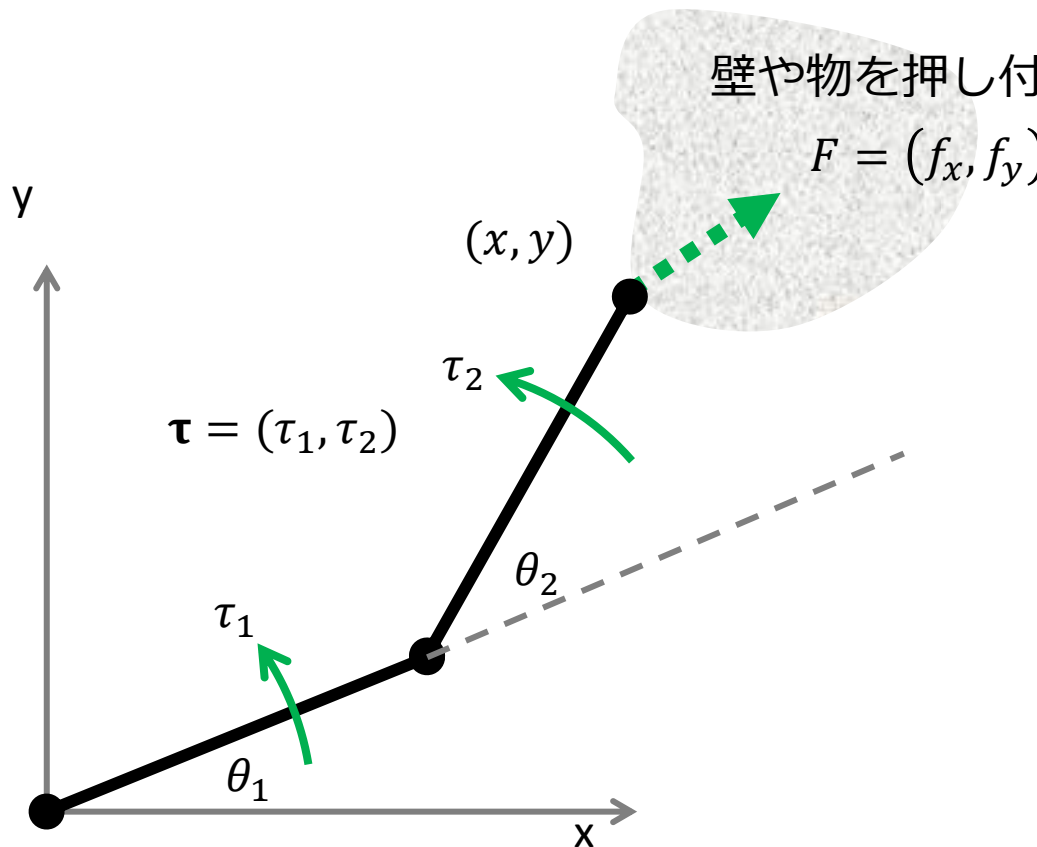
関節トルク（関節に与える力のモーメント）は、 τ_1, τ_2 などを書くことが多い

関節に与える力（トルク）と手先の力の関係を計算する



関節トルク（関節に与える力のモーメント）は、 τ_1, τ_2 などと書くことが多い

関節に与える力（トルク）と手先の力の関係を計算する



関節トルクは、 τ と書くことが多い

壁や物押し付ける力

$$F = (f_x, f_y)$$

先端で、ある向きに、力Fを加えたい

その時、各関節にはどれくらいのトルク τ が必要か

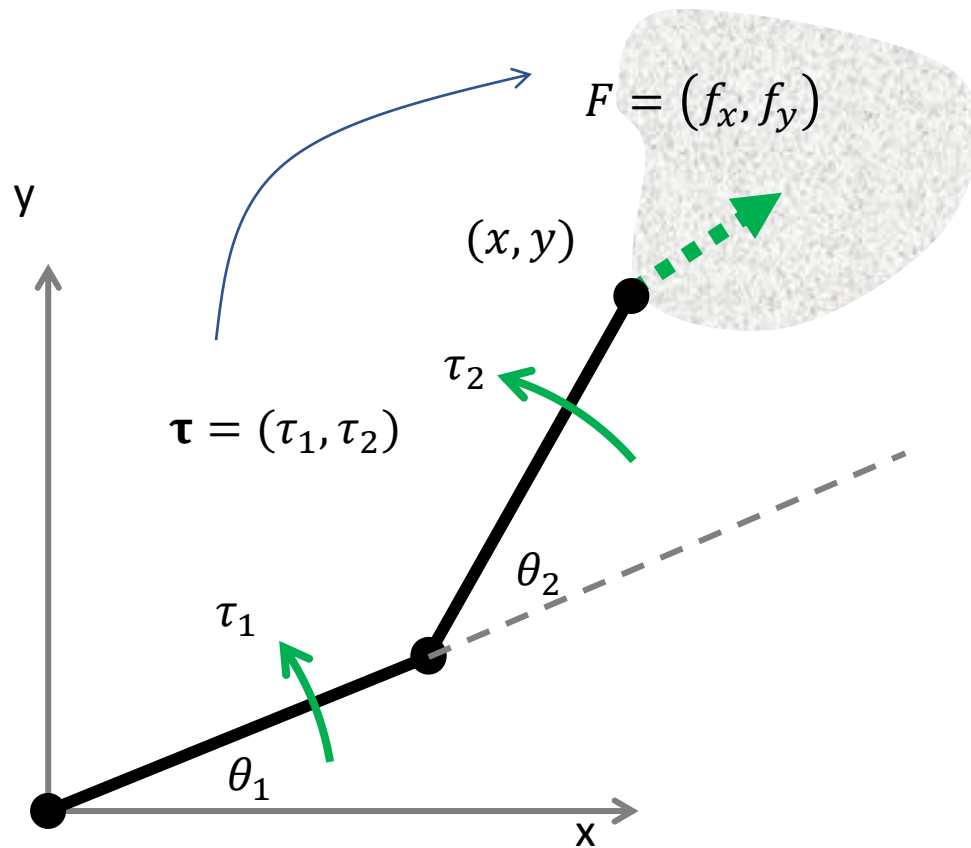


マニピュレータヤコビアン
Jを使って計算可能

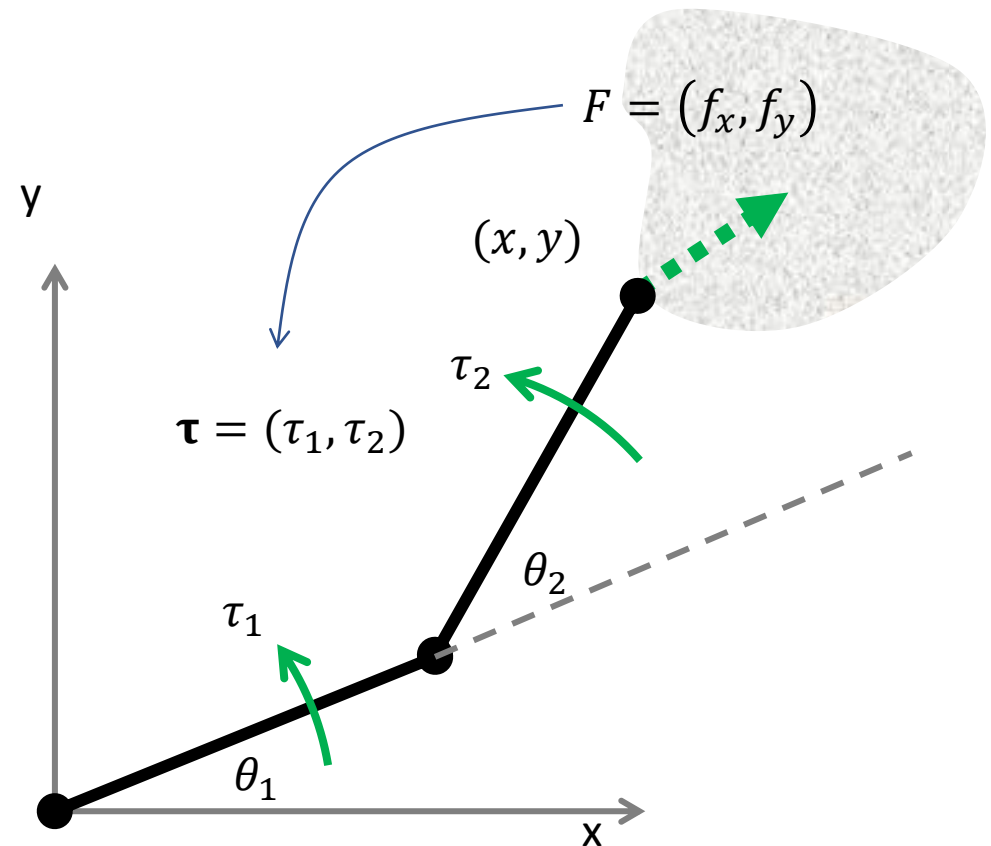
$$\tau = J^T F$$

※注意、 τ と書いているのは、逆行列ではなく、**転置**

用語：ロボットの手先にかかる力と，関節に与える力の関係を計算するのは静力学(Statics)



順静力学 (省略)
(シミュレーション用)



逆静力学 (前のスライド)
(ロボット制御用)