

理工系大学での学びとキャリアデザイン

自由自在にシステムを操るための基礎

「フィードバック制御」入門

金沢工業大学 鈴木亮一

学習内容：

私たちの身近にある電子機器やロボットなどの機器システムは、所望の動作を安定に実現するため、フィードバック制御の技術が広く活用されている。この回では、フィードバック制御をすると、なぜ外部環境の影響を受けにくいシステムを構築することができるのか、身近な事例をもとに理解を深める。

フィードバック制御の特長を理解する

フィードバックとは：

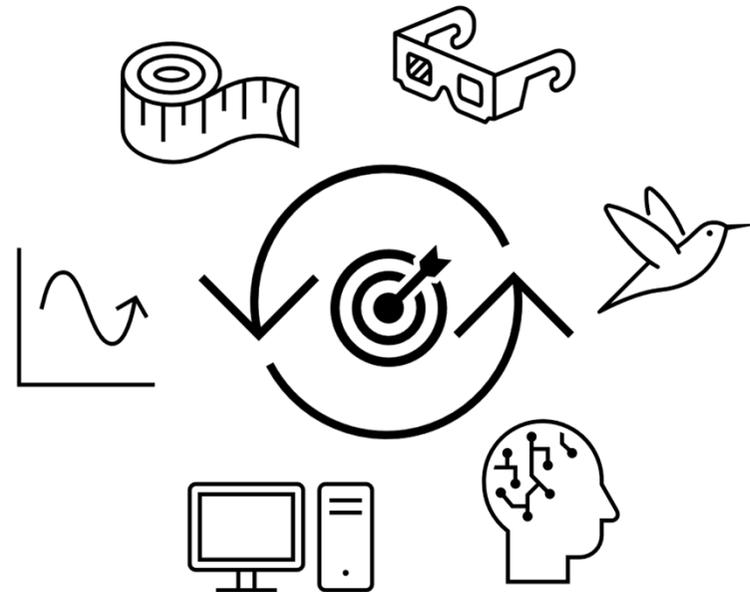
因果関係のあるシステムを対象に、
その（出力）結果を分析し、
反省（振り返り）をして、
適切な操作や助言（入力）を与え、
ふるまいや行動を改善すること。



ものごとを改善するためのプロセスのひとつ

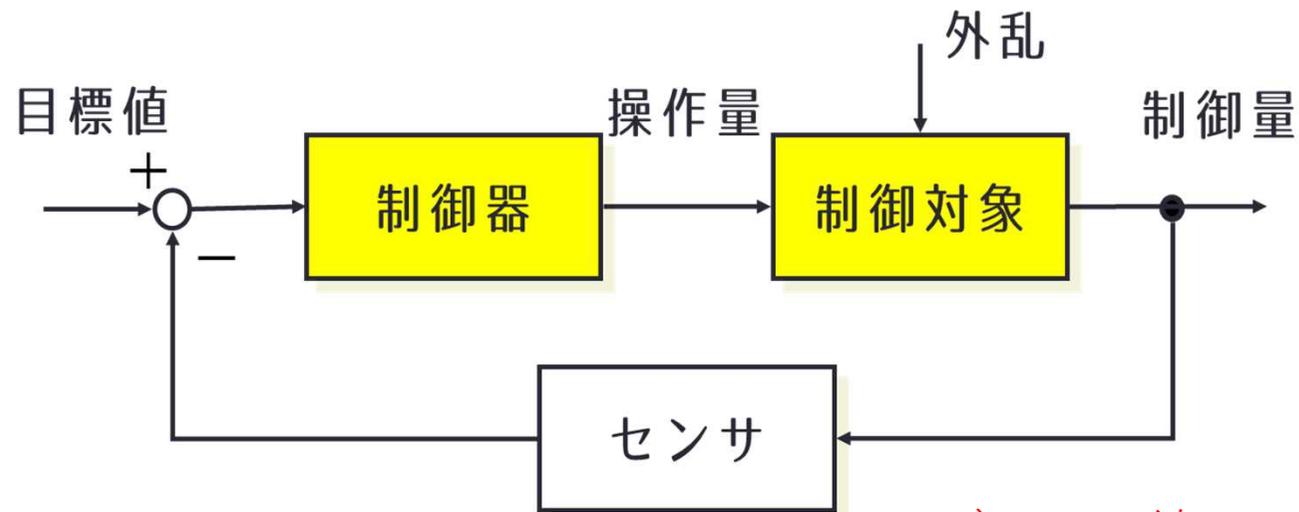
制御（コントロール）とは：

目的を達成するように，
対象となるシステムに必要な，
適切な操作を加えること。



フィードバック制御とは：

因果関係のあるシステムを対象に、
出力信号を入力側に帰還し、
目標値と一致するような操作量を決定し、
望ましい出力（制御量）になるように、
システムを操る（制御する）こと。



ブロック線図で表現できる

予習課題：



フィードバック制御の技術が生活や社会の中でどのように活かされているか予習しておく。

フィードバック制御の事例：



エアコンなどの温度制御



自動車のオートクルーズコントロール



産業用ロボットの位置制御



化学プラントの制御



航空機やドローンの制御



エネルギーマネジメント

フィードバック制御の強み：

1. 外から加わる悪い影響（外乱）に強い。
 2. システムの特性が多少変わっても問題ない。
 3. 不安定なシステムを安定にすることができる。
- ⇒ 外乱の影響を抑制し，目標値追従を実現する。

外乱の影響があることや，システムの変動した原因がわからなくても，目標値に合うように操作量を修正し，改善することができる。

小型電気自動車の制御

車の特性：

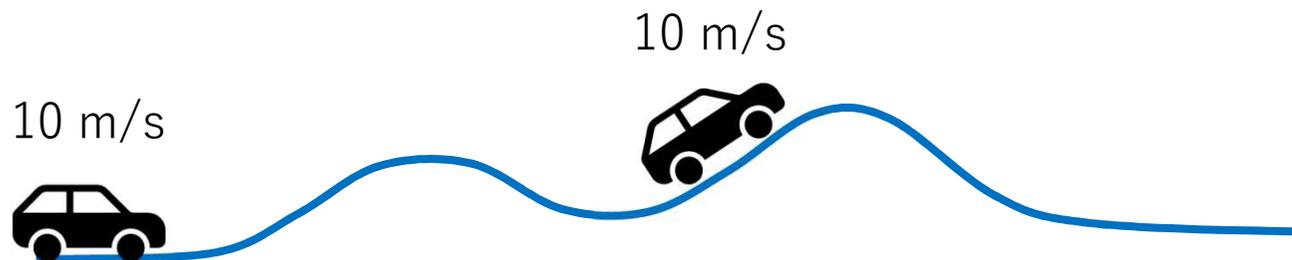
平地では，1 [A]の電流を加えると2 [m/s]で進む。

登り坂では，傾斜のため2 [m/s]では進まない。

前から強い風が吹いるときも2 [m/s]では進まない。

制御目的： クルーズコントロール（車速一定）

どのような環境でも車を10 [m/s]で走行させる。

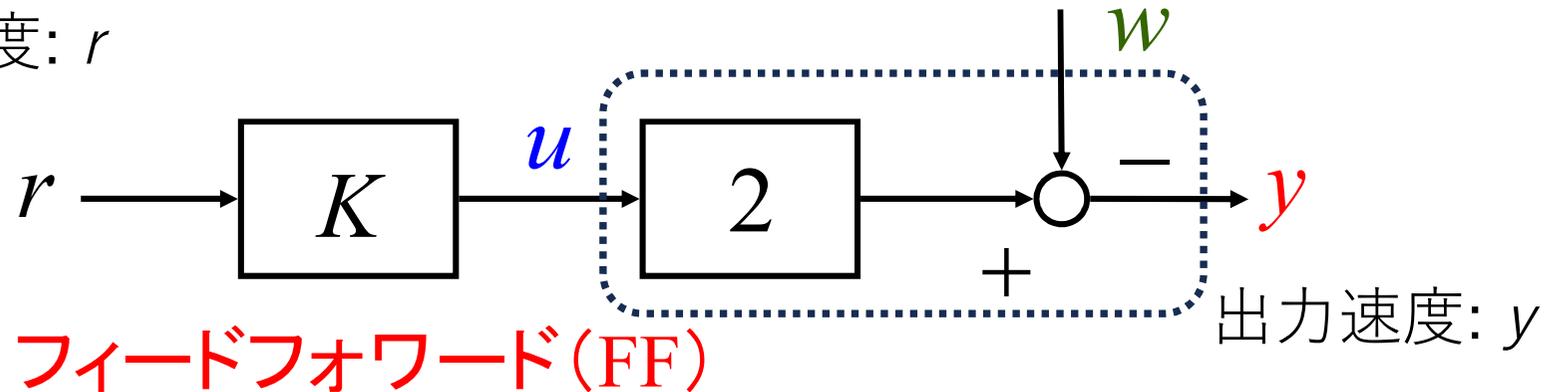


小型電気自動車の制御

フィードバックのない制御：



目標速度: r



$$\begin{cases} y = 2u - w \\ u = Kr \end{cases} \quad w = 0, K = 1/2 \text{ のとき}$$

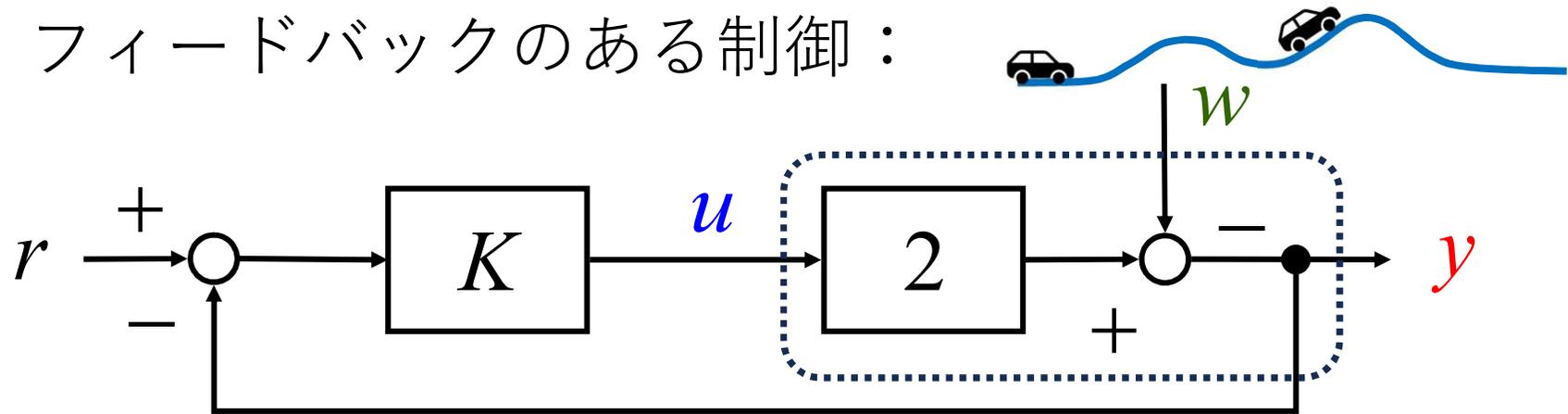
$$y = r$$

$$\rightarrow y = 2Kr - w$$

目標速度と出力速度が一致

小型電気自動車の制御

フィードバックのある制御：



フィードバック (FB)

$$\begin{cases} y = 2u - w \\ u = K(r - y) \end{cases}$$

$$y = \frac{2K}{1+2K}r - \frac{1}{1+2K}w$$

$$y = 2K(r - y) - w$$
$$(1 + 2K)y = 2Kr - w$$

$w = 0$
 $K \rightarrow \text{大}$ のとき

$$y \approx r$$

目標速度と出力速度がほぼ一致

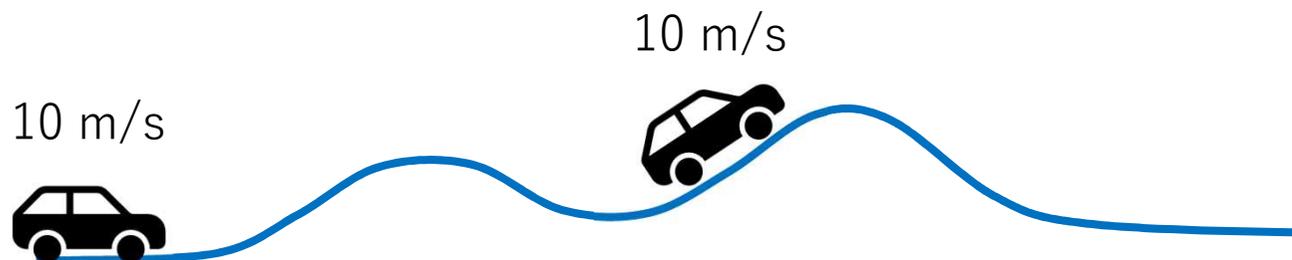
小型電気自動車の制御

車の特性：

平地では，1 [A]の電流を加えると2 [m/s]で進む。

制御目的： クルーズコントロール（車速一定）

どのような道でも車を10 [m/s]で走行させる。



フィードバック制御の強み①：

1. 外から加わる悪い影響（外乱）に強い。
2. システムの特性が多少変わっても問題ない。
3. 不安定なシステムを安定にすることができる。

登坂を走行する場合，あるいは
強い向かい風が吹く場合の影響は？

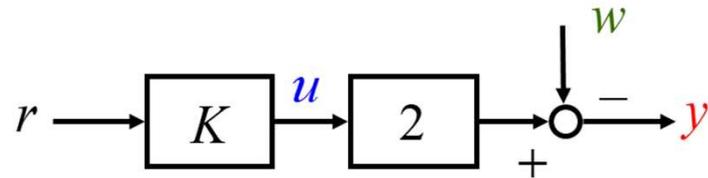
2.0 [m/s]の外乱の影響を調べる

確かめてみましょう！



小型電気自動車の制御：外乱の影響に強い

フィードバックなし



$$y = 2Kr - w$$

$$K = \frac{1}{2} \text{ のとき}$$

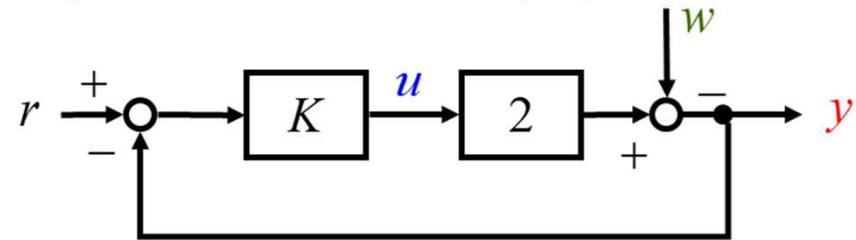
$$y = r - w$$

$$= 10 - 2$$

$$= 8 \text{ [m/s]}$$

外乱が $w=2$ [m/s] のときは、
車の目標速度 10 [m/s] に対し
て 8 [m/s] でしか進まない

フィードバックあり



$$y = \frac{2K}{1+2K} r - \frac{1}{1+2K} w$$

$$K = 100 \text{ のとき}$$

$$y = \frac{200}{201} r - \frac{1}{201} w$$

$$= \frac{200}{201} \cdot 10 - \frac{1}{201} \cdot 2 \approx 9.94 \text{ [m/s]}$$

目標速度と出力速度がほぼ一致！

フィードバック制御の強み②：

1. 外から加わる悪い影響（外乱）に強い。
2. システムの特性が多少変わっても問題ない。
3. 不安定なシステムを安定にすることができる。

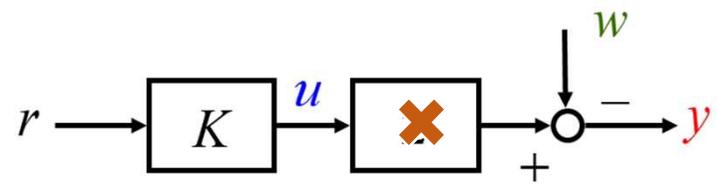
モータに異常発生。1Aの電流を与えても
1.5 [m/s]でしか動かなくなってしまった…
目標速度 10 [m/s]で走れるのでしょうか？

確かめてみましょう！



小型電気自動車の制御：特性の変動に強い

フィードバックなし



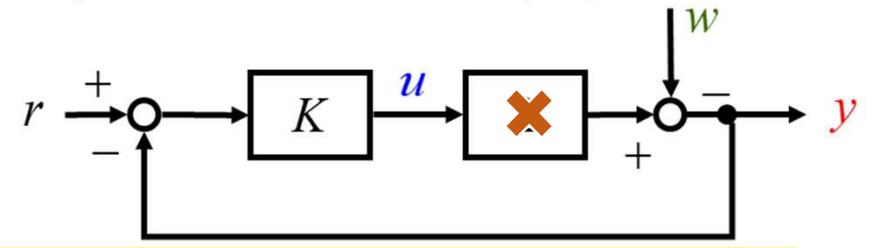
$$y = 1.5Kr - w$$

$K = \frac{1}{2}$ のとき

$$\begin{aligned} y &= r - w \\ &= 7.5 - 0 \\ &= 7.5 \text{ [m/s]} \end{aligned}$$

システムの変性が変わると平地でも 7.5 [m/s] でしか進むことができない。

フィードバックあり



$$y = \frac{1.5K}{1+1.5K} r - \frac{1}{1+1.5K} w$$

$K = 100$ のとき

$$\begin{aligned} y &= \frac{150}{150} r - \frac{1}{150} w \\ &= \frac{150}{151} \cdot 10 - \frac{1}{151} 2 \approx 9.92 \text{ [m/s]} \end{aligned}$$

外乱の影響有
で考えても

目標速度と出力速度がほぼ一致！

フィードバック制御の強み③：

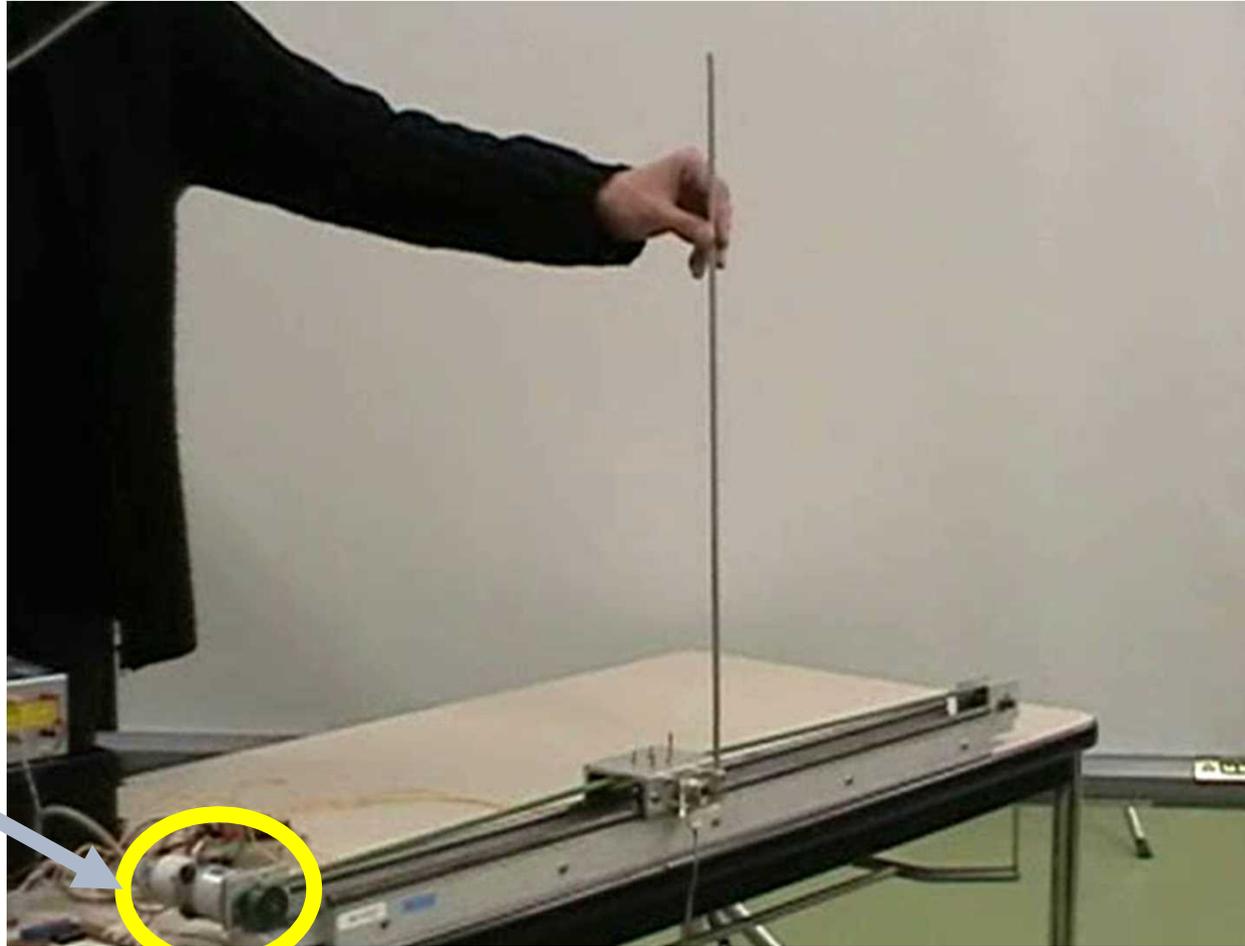
1. 外から加わる悪い影響（外乱）に強い。
2. システムの特性が多少変わっても問題ない。
3. 不安定なシステムを安定にすることができる。

ロケット打上げ制御の基礎になる、
棒を立てる制御を考えてみる。



（動画で）確かめてみましょう！

棒をまっすぐに立てる制御



モータの
入力を,
操作する.

根元に取り付けられたセンサ（エンコーダ）で棒の角度を読み取りフィードバック制御している.

フィードバックをして大きく成長する

因果関係のあるシステムを対象に、
その（出力）結果を分析し、
反省（振り返り）をして、
適切な操作や助言（入力）を与え、
ふるまいや行動を改善すること。



日頃の勉強にも役立ちます。実践しましょう！

まとめ

□ フィードバック制御は身近に使われている技術.

その特長は，次のとおり.

1. 外から加わる悪い影響（外乱）に強い.
2. システムの特性が多少変わっても問題ない.
3. 不安定なシステムを安定にすることができる.
⇒ 外乱の影響を抑制し，目標値追従を実現する.

□ 自身の目標達成にも「フィードバック」は有効.

大学での学びを通して，皆さんが大きく成長することを期待しています.