

本pdf資料は授業の説明(主として例示)のために本資料で引用した図表は除外し、出典(URL)のみを示している.

制御工学1

質問・要望に関する回答

明治大学 理工学部
機械工学科 加藤恵輔

注意事項

1. 本資料は上記授業のために受講者による閲覧を想定して作成されたものである.
2. 授業の説明(主として例示)のために本資料で引用した図表には出典を示しているが、その内容に関しては関知しないものとする.
3. 本資料の内容に関する説明は授業にて行うものとする.
4. 本資料は授業で行ったレポートの内容を勘案して作成したものであるが、制御の概念の理解に役立つものとして作成しており、まとめや振り返りに相当する位置付けとして扱っている.

レポートで要望，質問のあったこと

- ラプラス変換について
- フィードバック要素とセンサの種類
- 外乱について
- 制御理論・概念のいろいろ
- 制御の失敗について
- 身近な制御や具体例
- 自動車の制御
 - パワーステアリング
 - ECUマッピング
 - 衝突被害軽減ブレーキ
- 制御とソフトウェアとハードウェア
 - ハードウェアの重要性
 - ソフトウェアの重要性と言語
- 組み込み機器
- 人工知能
- ロボット
 - 画像処理
 - 姿勢制御
 - 研究対象
- その他
 - 昇圧回路
 - 美味しいコーヒーの淹れ方？？？

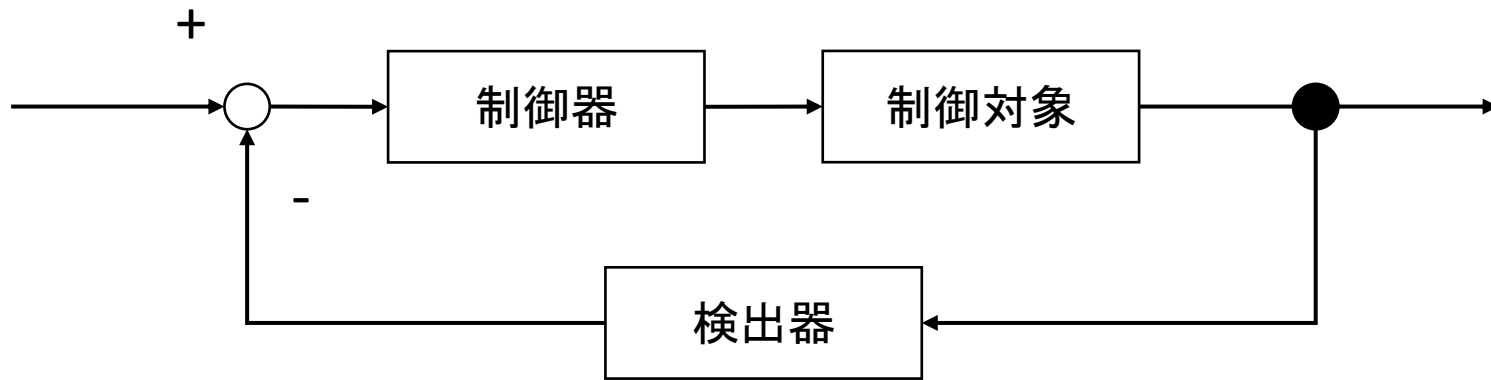
ラプラス変換

- 詳細は数学や物理学で学んだことを利用してください.

制御におけるラプラス変換利用の特徴

1. 運動方程式などのモデルを形式的に変形できる(ラプラス変換表を用いれば機械的に変換できる:もちろん意味は理解して欲しい)
 - 制御工学1では, 以下のものだけを扱う
 - 入力には, **インパルス**, **ステップ**, ランプ, パラボラ
 - 伝達関数には, **1次遅れ**, **2次遅れ**, **無駄時間**
2. ラプラス変換した数式は連立代数方程式として簡単に解ける
3. 初期値を与えるだけで扱えるが, **初期値を与えないと間違える**
 - 一階微分, 二階微分を思い出すように.

フィードバック制御



検出器(フィードバック要素)

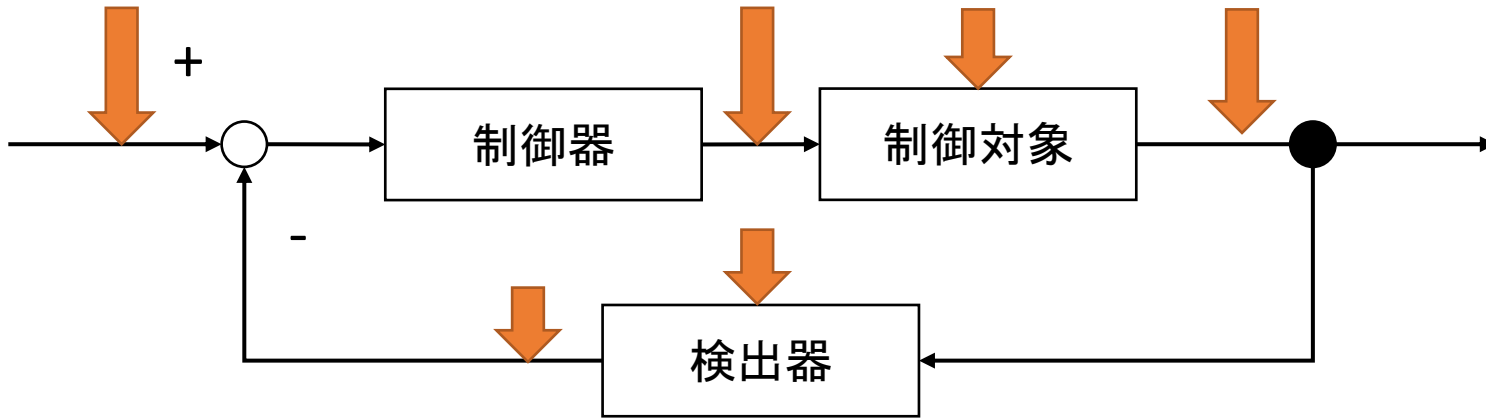
- 出力の状態を知る手段
 - 物理量を測るセンサ
 - 制御系の特性を改善する計算
 - 物理量を推定する計算(オブザーバ)

↘ センサレス制御

• センサの種類

- 角度: ロータリーエンコーダ
 - 位置: リニアエンコーダ
 - 角度: ポテンショメータ
 - 角速度: タコジェネレータ
 - 加速度: MEMS加速度センサ
 - 角加速度: MEMSジャイロ、リングレーザージャイロ
 - 圧力: ピエゾセンサ、FSR
 - 力: ロードセル
 - トルク(電流): ホール素子
 - 温度: 熱電対、放射温度計、サーミスタ
- など

フィードバック制御



外乱の中身

- 予期しない負荷特性やその変動
- 予期しない流入(熱、流体、化学物質、その他エネルギー)
- 電氣的ノイズ
- デバイスの性能不足、不具合
- 経時的変化

外乱の種類

- 制御対象の入力に加わる
- 制御対象の特性変化
- 出力(応答)に加わる
- 検出器の特性変化

外乱が経路のどこに加わるか、どの要素に加わるかによってシステムの応答が異なる
(外乱は様々なところに生じる)



外乱に対する伝達関数が異なる

制御の仕組みはあっても制御理論の概念がない時代

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/ja/thumb/a/a2/325px-Fliehkrafregler.PNG/300px-325px-Fliehkrafregler.PNG>

- 意図した設計のダンピングがないので2次遅れの ζ が小さい
- 管路長があるので遅れが生じ無駄時間要素となる

小型化、高速化した時の問題

さまざまな制御理論

古典制御

- 伝達関数で表現
- 線形化されたモデル
- 1入力、1出力
- 1960年代以前から**現在**もなお利用

現代制御

- 状態方程式で表現
- 線形、非線形モデル
- 多入力、多出力
- 1960年代以降利用

ロバスト制御

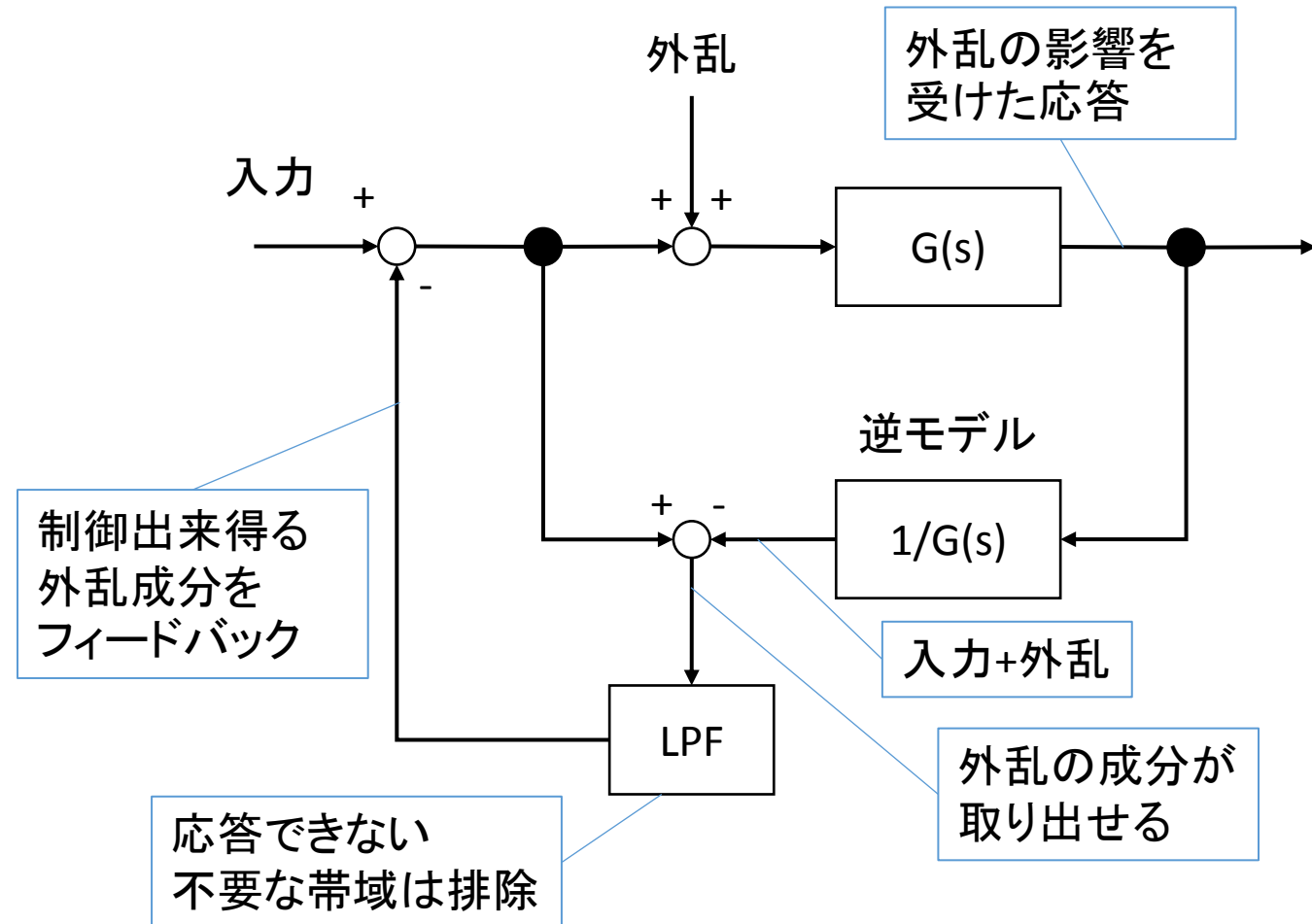
- 制御対象モデル(ノミナルモデル)の精度がよくななくても制御可能
- 外乱など不確かさを含んだ状態であっても制御可能
- 1980年代以降利用

- 制御対象モデル(ノミナルモデル)が十分な精度
- 実システムとのモデル化誤差が僅少である前提
- 不確かさは原則無いものとして扱う
- 数学的に破綻しない数式で表現

さまざまな制御原理

- 適応制御
 - 制御対象の特性が変化する場合、**パラメータを変化させながら制御**を行う方式
- H_∞ 制御
 - 外乱を含めて応答を評価し、過大にならないよう設計して**外乱に対する抑制を行う制御系設計法**
- 最適制御
 - 制御性能を示す**評価関数**を作り、それが適切な大きさになるように制御する方式

(実例) 外乱(推定)オブザーバ

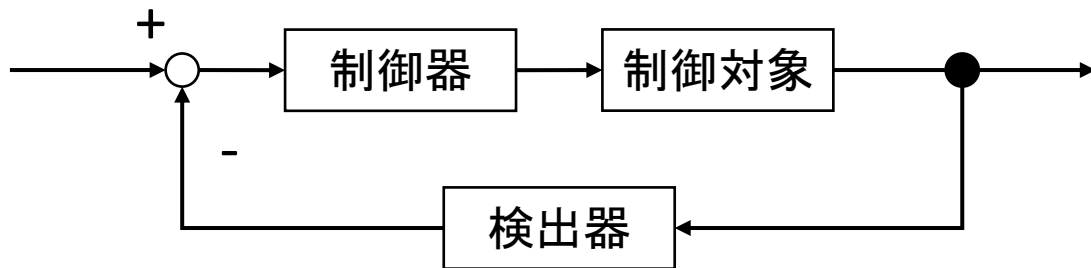


- 推定された外乱成分のうち、制御系が応答できる帯域をフィードバック
- 不要な帯域は微分するとゲインが上がるから除外

制御の失敗の原因

- 制御系を構成する要素

- 入力(指令値)
- 制御器(コントローラ)
- 実制御対象
- 制御対象のモデル(ノミナルモデル):
実制御対象そのものではない
- 検出器(センサ)



- 制御系設計時

- 制御モデルのモデル化精度
- 制御器パラメータ選定

- 調整時

- 制御モデルパラメータ同定
- 制御器パラメータ調整

- 動作・運転時

- 指令値の与え方(操作)
- 検出器の不具合・故障
- 制御対象の特性変化

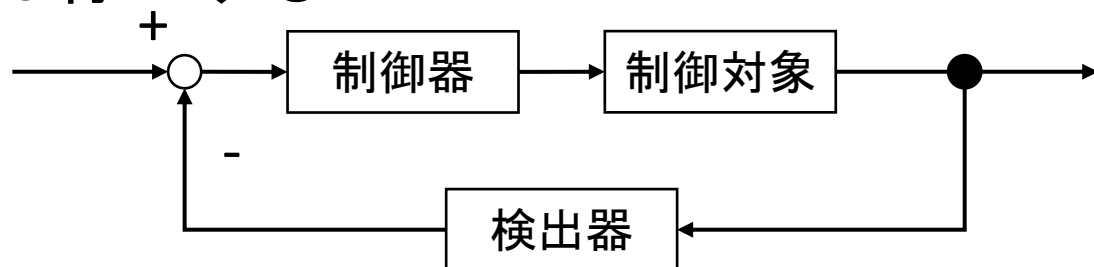
- 長期間運用時

- 検出器の特性変化、不具合・故障
- 制御対象の特性変化

制御失敗事例

モータ角度制御時のセンサ故障

- 指令値: 60[deg]
- センサ値: 壊れて-10[deg]のまま
- 偏差と制御量: $60 - [-10]$ [deg]で70[deg]を修正しようとするが、いつまでも偏差は70[deg]
- 実際の応答: プラス方向にどこまでも回転しようとし機構限界まで回転
- 安全対策: 角度リミットスイッチがあれば停止する



昔の飛行機の自動制御と操縦の混在、モード選択間違いの結果、相反する制御により相互に外乱となった

- 操縦者の意図: 着陸したい
- 自動操縦の操作: 間違ってゴーアラウンド(着陸やり直し)による機首上げ、推力最大
- 操縦者の操作: ゴーアラウンド解除したつもりで解除せず、さらに機首下げ操作、自動操縦を解除
- 自動操縦の制御動作: 自動操縦を解除による姿勢変化を検出、失速防止制御のため推力増大と機首上げ制御
- 実際の応答: 推力上昇のため、機首が急に上がり失速、墜落
- 安全対策: モード選択と自動制御、手動操縦の優先度の関係を適正化(旧型機である上、改修していなかった)

身近な制御や具体例 安全のための制御

エレベータ

- 停止位置制御
- 速度制御
- 加速度制御(乗り心地)
- 挟み込み等の検出
- 地震検出と自動停止制御
- 複数機の効率的な運転

飛行機

自動操縦のための制御

FMC(Flight Management Computer) (WAY POINT(通過点)へ入力された条件(速度や高度)を忠実に通過すべく各システムを制御)

- Vertical NAVigation (最も燃料節減ができる上昇と降下飛行)
- Lateral NAVigation (出発空港のスポット[駐機場]から目的空港の使用滑走路迄の水平方向航法)

制御装置

- Flight Detector(飛行監視装置)
- Auto Pilot(自動操縦装置)
- Auto Throttle(自動推力装置)

人間を含めたシステム

EFIS(Electronic Flight Instrument System)

ADI(Attitude Director Indication: 水平儀(傾きや上昇降下姿勢を角度で読み取る), HSI(Horizontal Situation Indicator: 自機位置, 他機位置, TCAS(衝突防止警報装置), 地形, 天候を表示), FMC(前述), ADC(Air Data Computer), IRS(慣性航法システム), FCU(Flight Computer Unit), ILS(計器着陸装置), SG(Symbol Generator: 表示する情報を管理), RA(Radio Attitude meter), レーダー

自動車の制御

パワーステアリング

- 油圧式
 - タイヤからの反トルクとステアリングの操作トルクの差に対してバルブを操作し、油圧でアシスト
 - 信頼性が高く、操作感がよい
 - エンジンでオイルポンプを回す動力損失(数%)
- モータ式
 - ステアリングの操作トルクをセンサで検出し、モータでアシスト
 - 簡潔な機構、動力損失が少ない
 - モータ特有のコギングによる操作の違和感
- 組み合わせ
 - 操舵トルクをセンサで検出、油圧ポンプをモータで動作し、油圧でアシスト
 - 操作感がよい
 - 動力損失が少ない

http://www.tksam.co.jp/paste509_2.png

http://www.hitachi-automotive.co.jp/products/dcs/img/products_dcs_02_photo01.jpg

自動車の制御

ECUマッピング

- Engine Control Unit

これ以外にも数多くの
センサデータ

rt	address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	2A	2B	2C	2D	2E	2F
		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	3A	3B	3C	3D	3E	3F
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F
		60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	6A	6B	6C	6D	6E	6F
		70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	7A	7B	7C	7D	7E	7F
		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	9A	9B	9C	9D	9E	9F
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE	AF
		B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA	BB	BC	BD	BE	BF
		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF
		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	DA	DB	DC	DD	DE	DF
		E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	EA	EB	EC	ED	EE	EF
		F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	FA	FB	FC	FD	FE	FF

空気吸入量

エンジン回転数

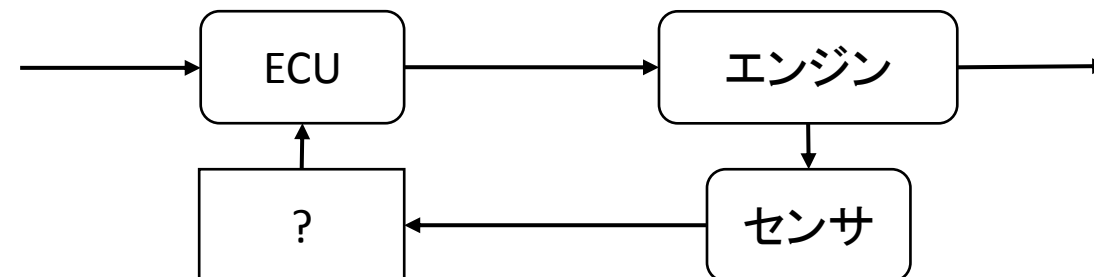
点火時期, 燃料噴射量など
(エンジン回転数に対する位相角
など)を16進数で行列で表記

ECU内の
データ
ROM内に
格納

センサ
電圧

各種センサの電圧と
測定値の関係

センサに加わる物理量



ステレオカメラで
障害物・環境認識

衝突被害軽減ブレーキ

- 自動車のロボット化の流れ
 - ドライバーへの警告
 - エンジン出力制御
 - ブレーキ制御
 - エンジン再始動抑制

<http://www.subaru.jp/news/2010/eyesight/images/system.jpg>

ミリ波レーダー、カメラ、レーザーセンサで
障害物・環境認識（後方も）

行き着くところは

- 全方位障害物・環境認識
- 自己位置認識
- 経路計画
- 自律走行

<http://zeitgeist-ny.com/files/2010/10/google-auto-car.jpeg>

http://www.volvocars.com/jp/top/about/news-events/PublishingImages/Company/20121005/pr_20121005.jpg

制御とソフトウェアとハードウェア

制御は電子制御
だけではない

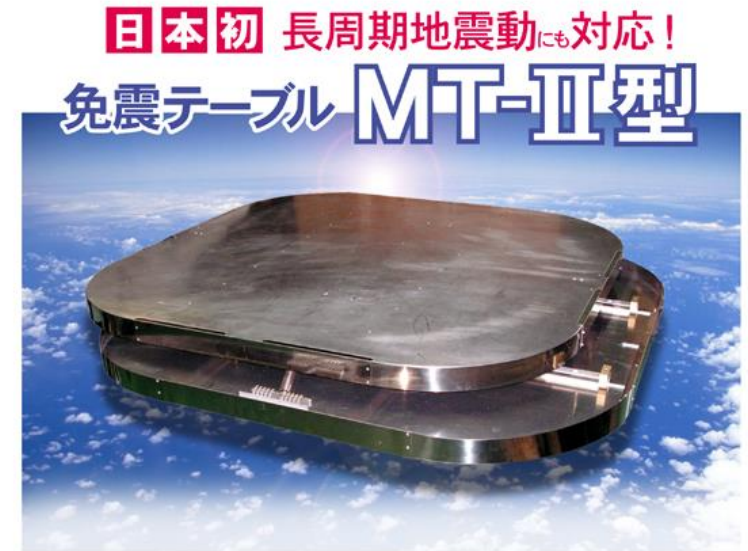
- 必要な仕様を満たす機構で実現(振動抑制など)
- 物理的効果を発揮するのは機構(対象物と物理的接触がある)
- 装置の機能を決定するのは機構(機構にできない物理作業はできない)



<http://www.koyo-sk.co.jp/prod021.htm>



<http://stundenbirne.jugem.jp/?eid=630>



特許出願中

新たに開発した漸硬型摩擦ダンパーを採用することで、震幅の大きいゆっくりとした長周期地震動の時も適切な減衰力が働くため、共振による被害拡大を低減することを可能にしました。

<http://www.saturn.dti.ne.jp/horibata/menshin.htm>



<http://www.complete-net.jp/blog/4?virtualpath=blog/4&virtualpath=blog/4&startpos=20>

制御とソフトウェアとハードウェア, ユーザ

ハードウェア

- ユーザの状態を獲得
- ユーザの操作を獲得
- 外界(環境)の情報, 環境の情報獲得
- 対象やその近傍, 装置自体の物理的情報獲得
- 作業, 動作のための動力の生成と伝達
- 対象への物理的効果, 作業(空間的に移動させる)

ソフトウェア

- 不確定な要素に関して学習して補間
- ユーザの意図を認識
- 制御系の行動原理に基づき軌道や行動を生成
- センサからの情報を処理して装置, 対象, 環境情報を認識
- パラメータを調整して必要な制御特性を実現

ソフトウェアとハードウェア

ハードウェアの重要性

- 機械にできることはハードウェアの効果と性能で決まる
- 言い換えれば, ハードウェアでできないことはできない
- ハードウェアの機能と性能を上げるように構想, 設計する必要

ソフトウェアの重要性

- ハードウェアだけでは機能が限定される
- ハードウェアだけでは調整幅が限定される
- 言い換えれば, ソフトウェアによって, 自在なコントロールを可能とし, 機能を増やし, 特性を変えられる

組み込み機器用CPU（古い型でも現行製品）

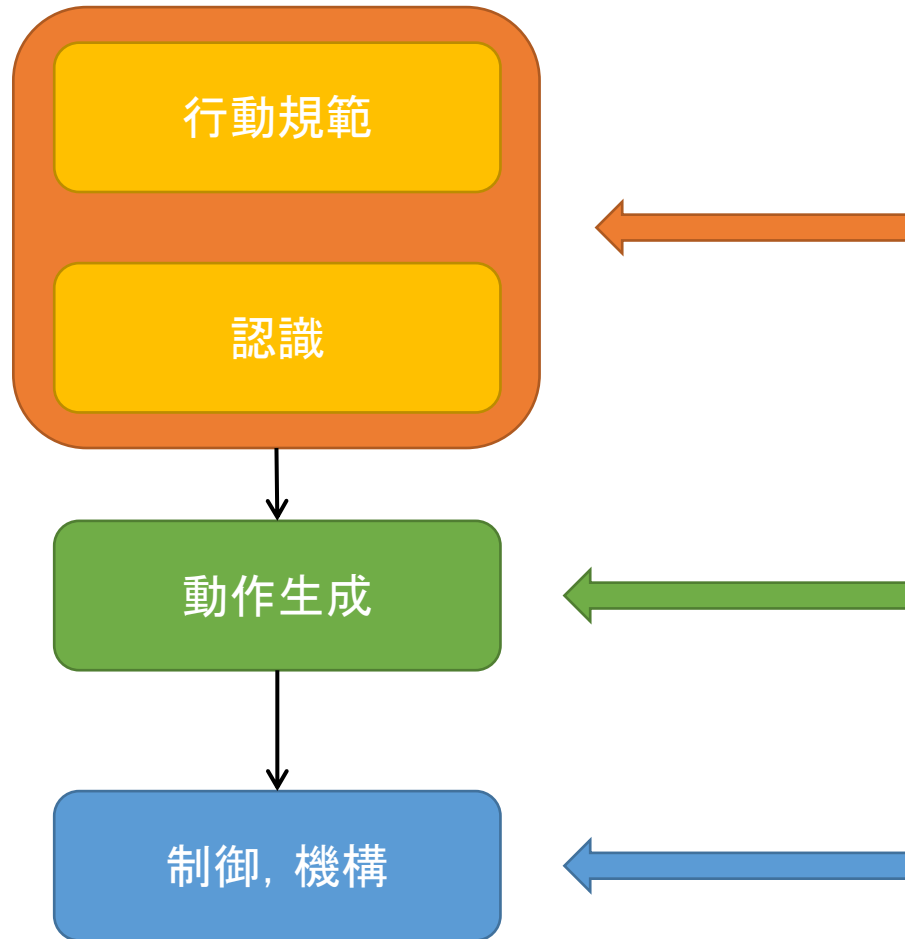
CPU	オリジナルのメーカー	アーキテクチャ, 特徴	データビット
Z80	ザイログ	Intel8080改良型	8bit
V30 , V850	NEC	Intel8086/186互換	8bit
PIC	マイクロチップテクノロジー	RISCに似ているが独自構造	8, 16bit
AVR	ATMEL	RISCマイコン(命令数少, 高速な計算速度)	8bit
H8/300	日立	CISCマイコン(命令数多く, 複雑な計算)	8,16,32bit
SuperH	日立	RISCマイコン(命令数少, 高速な計算速度)	32,64bit
PowerPC	IBM, モトローラ	RISCマイコン(命令数少, 高速な計算速度)	32,64bit
M16C	三菱電機	CISCマイコン(命令数多く, 複雑な計算)	16bit
R8C/Tiny	ルネサス	CISCマイコン(命令数多く, 複雑な計算)	8bit
MIPSアーキテクチャ	ミッパス・コンピュータシステムズ	RISCマイコン(命令数少, 高速な計算速度)	32,64bit
ARMアーキテクチャ	ARMホールディングス	RISCマイコン(命令数少, 高速な計算速度)	32,64bit

組み込み機器で利用できる代表的なプログラミング言語

- 機械語: CPUごとに異なる命令セットを1,0で記述
- アセンブラ: 機械語を英単語と数値で記述するがCPUのアーキテクチャ(構造)に依存した記述を求められる。
- C言語: 汎用的なプログラミング言語として記述できる。ただし、コンパイルをはじめとした開発環境はCPUごとに用意しなければならない。(マイコン制御を学ぶにはいちばん平易と思われる。)

人間の意志がどこに反映されるか？

人工知能



ここに反映されれば**〔自律制御〕**

- 人間はやりたいこと(意志)をシステムに伝える
- 目標やそのシーケンスを自動的に生成

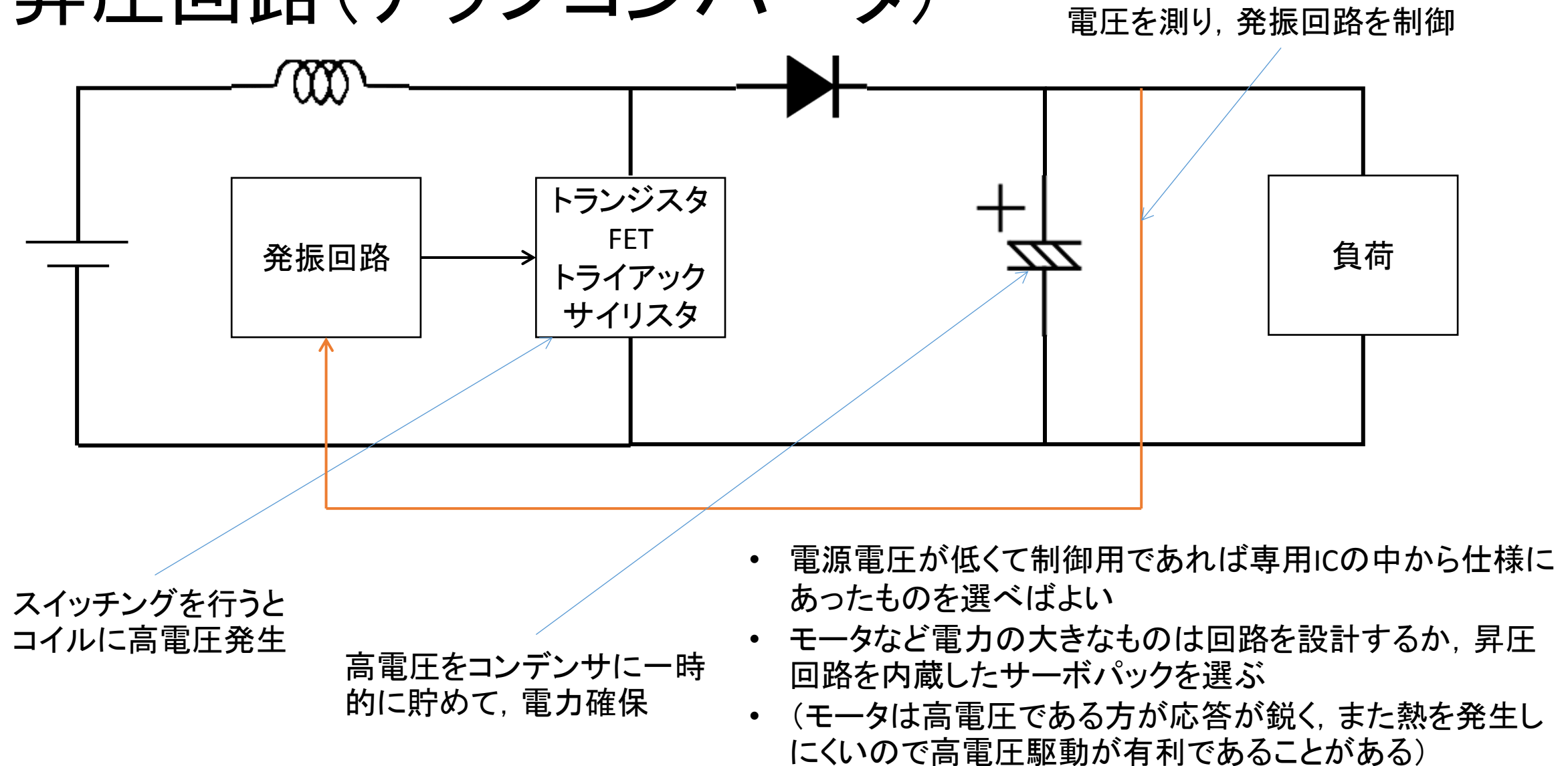
ここに反映されれば**〔自動制御〕**

- 人間はあって欲しい状態をシステムに伝える
- 目標を数値等として与え, それに忠実に動作

ここに反映されれば**〔操縦〕**

- 人間はシステムの状態を自ら与える
- 与えられた操作に対して忠実に応答

昇圧回路(アップコンバータ)



注意事項

1. 本資料は受講者による閲覧を想定して作成されたものである.
2. 授業の説明のために本資料で引用した図表には出典を示しているが, その内容に関しては関知しないものとする.
3. 本資料の内容に関する説明は授業にて行うものとする.
4. 本資料は授業で行ったレポートの内容を勘案して作成したものであるが, 制御の概念の理解に役立つものとして作成しており, 授業内容としては, まとめや振り返りに相当する位置付けとして扱っている.