

# 循環simulatorを作ってみよう(^^)

九州大学病院 循環器内科

坂本 隆史

# COI開示

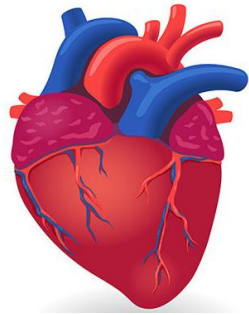
## 発表者：坂本 隆史

### 演題発表に関連し、開示すべきCOI関係にある企業

- |              |    |
|--------------|----|
| ①顧問：         | なし |
| ②株保有・利益：     | なし |
| ③特許使用料：      | なし |
| ④講演料：        | なし |
| ⑤原稿料：        | なし |
| ⑥受託研究・共同研究費： | なし |
| ⑦奨学寄付金：      | なし |
| ⑧寄付講座所属：     | なし |
| ⑨贈答品などの報酬：   | なし |

# Simulationの基礎

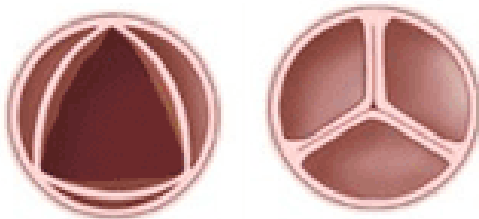
## 循環要素の性質



心臓



血管



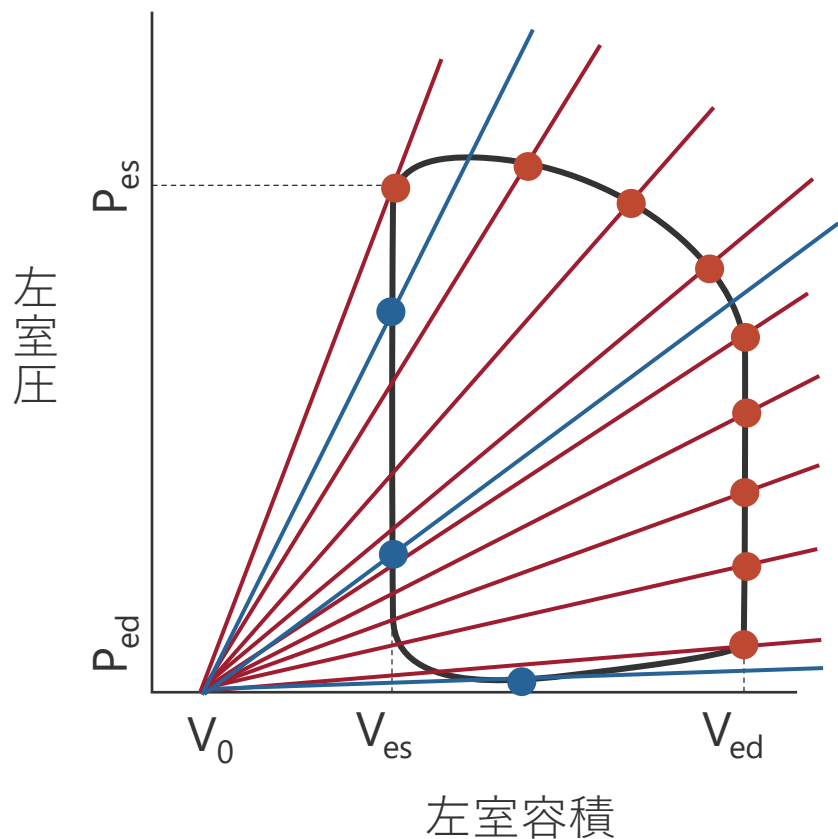
弁



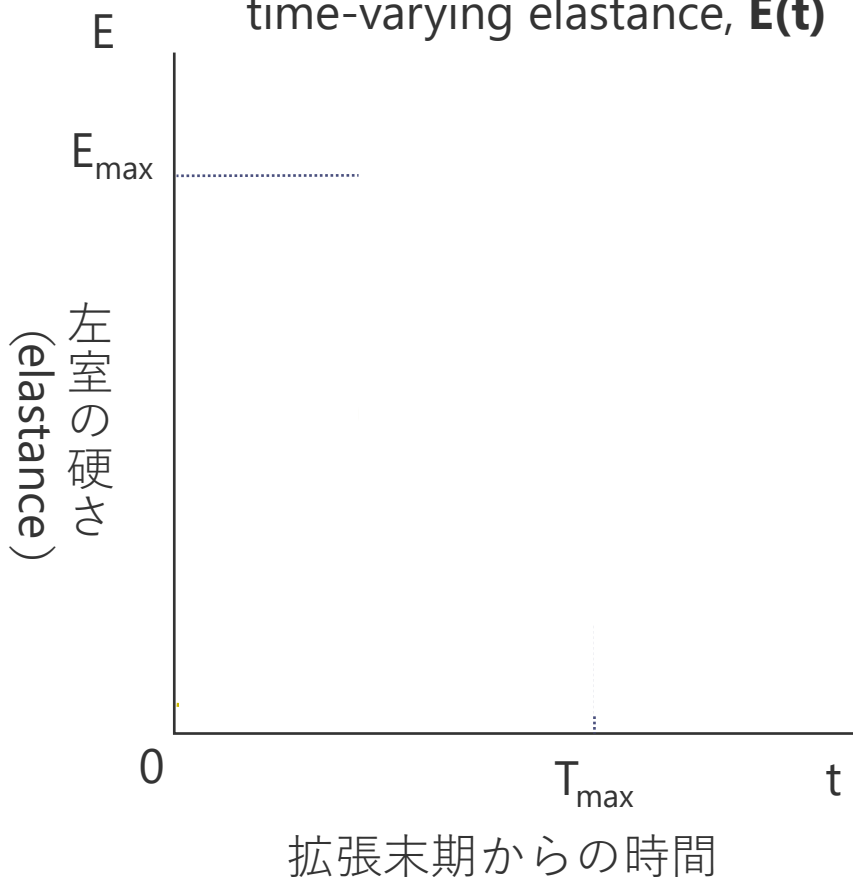
## 循環全体の働き



# 心臓のモデル化：時変エラスタンスモデル



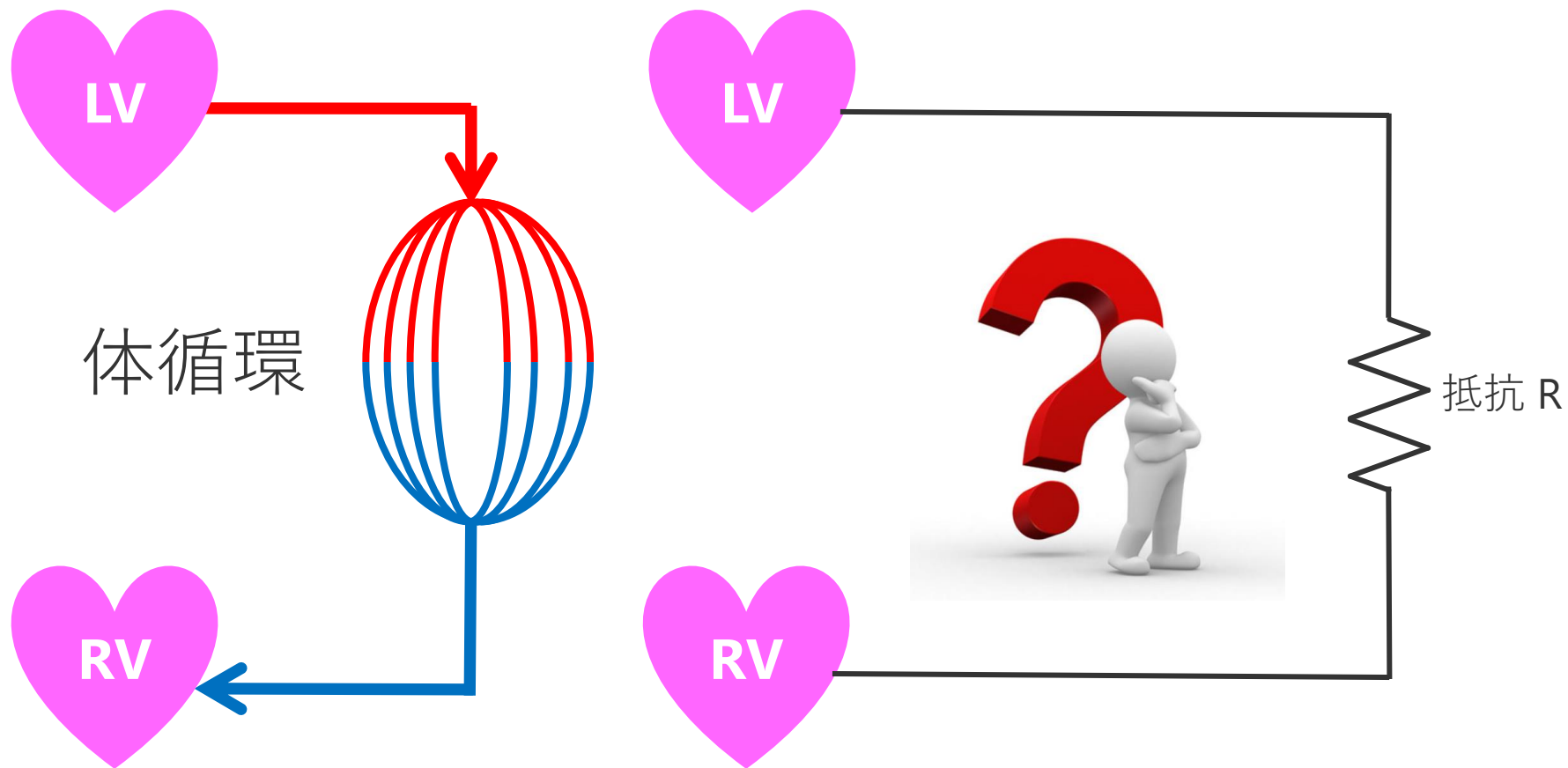
時変エラスタンス：  
time-varying elastance,  $E(t)$



ある時間 $t$ の  
左室圧 $P(t)$ , 左室容積 $V(t)$   
左室エラスタンス $E(t)$ の関係は、

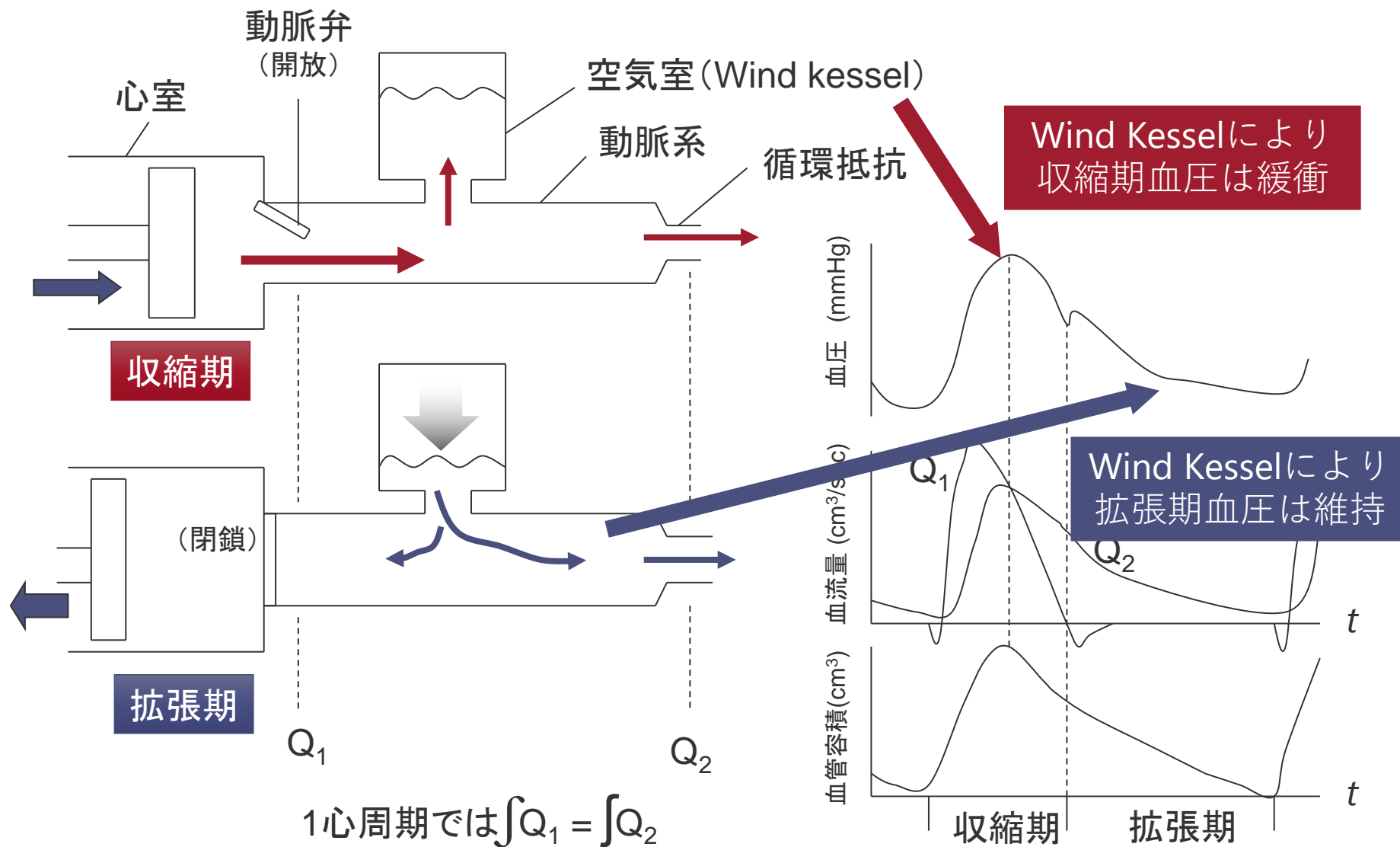
$$P(t) = E(t) \times V(t)$$

# 血管のモデル化：回路で考える

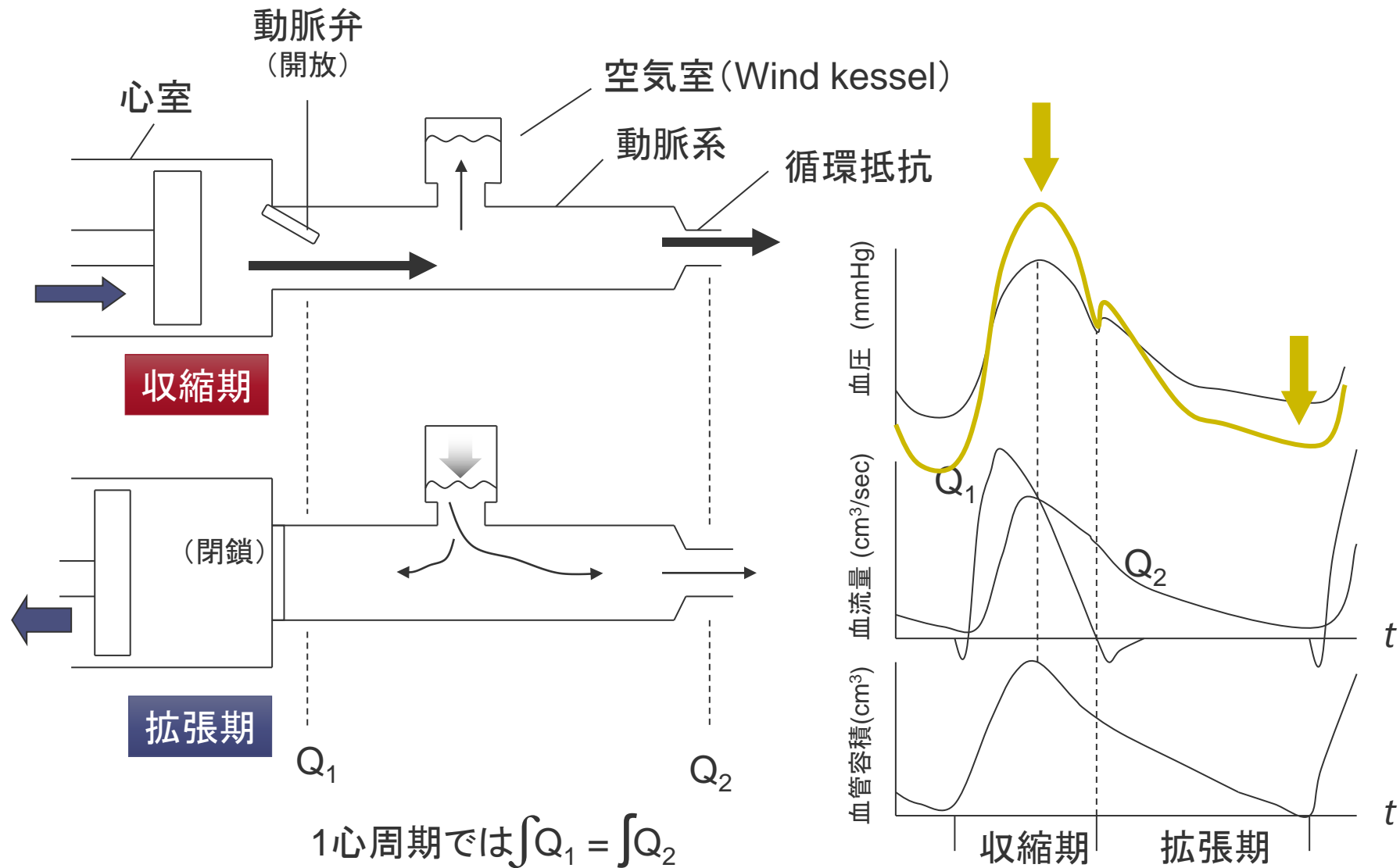


実際にはもうちょっと複雑

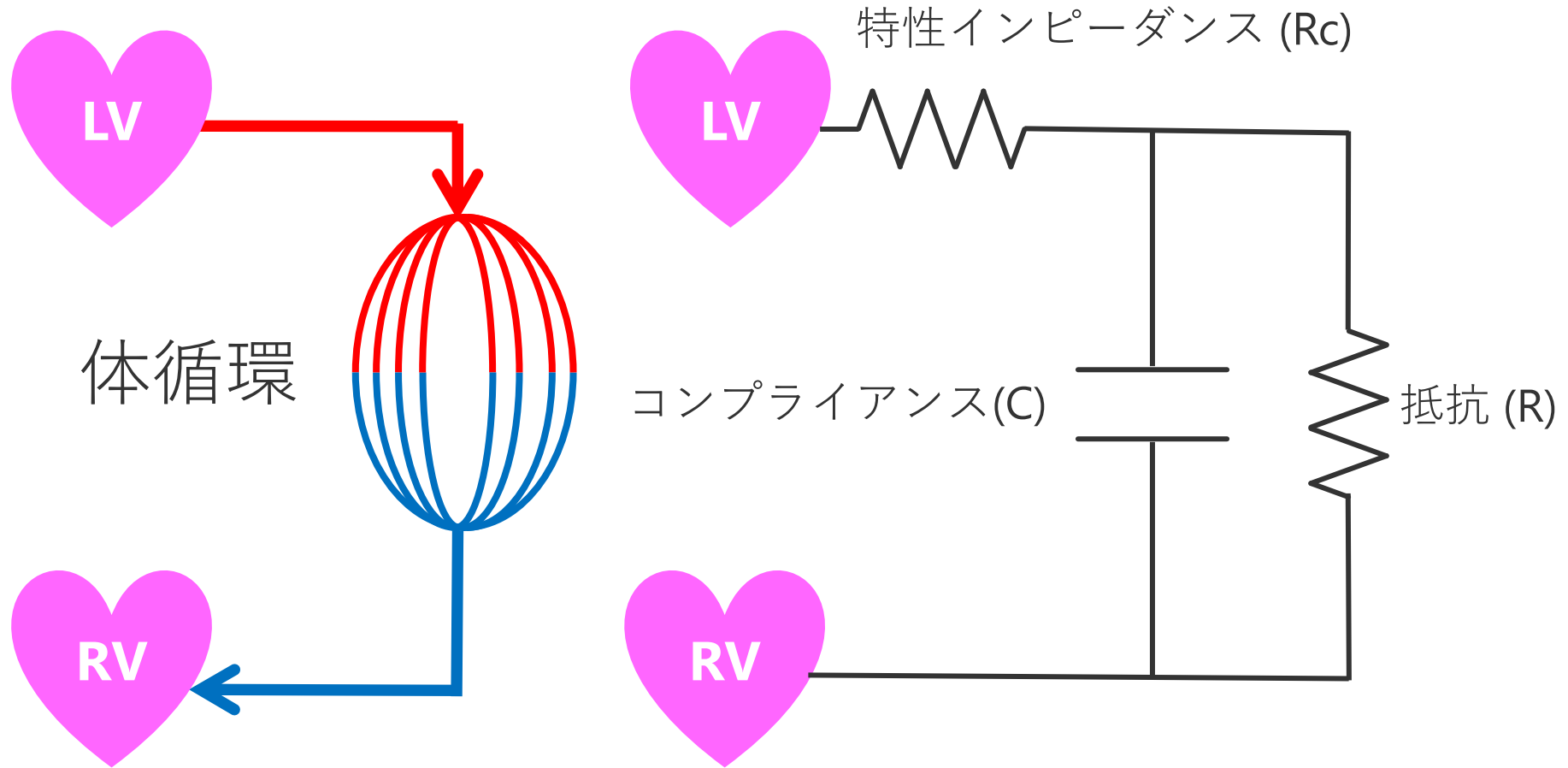
# 血管のモデル化：Wind-Kesselモデル



# 血管のモデル化：Wind-Kesselモデル

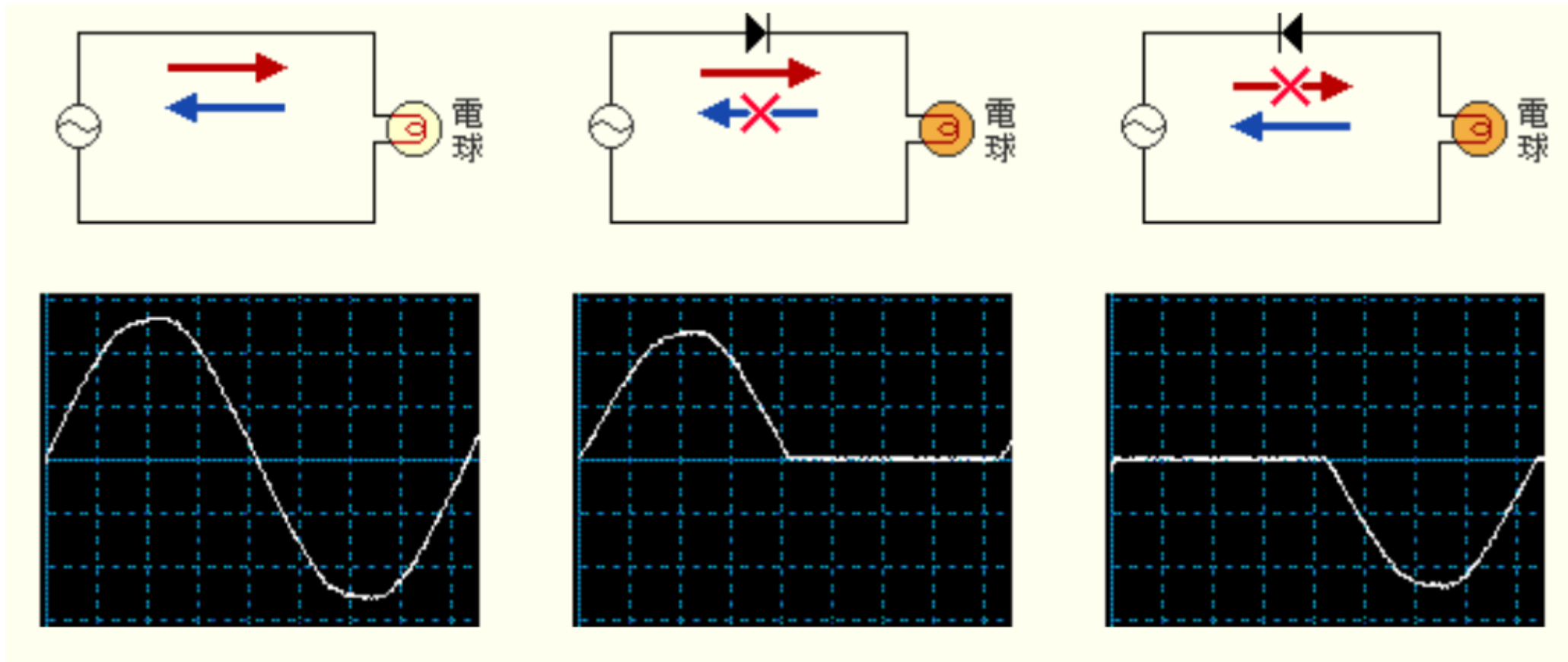


# 血管のモデル化：Wind-Kesselモデル



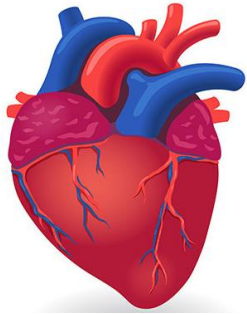


# 弁のモデル化：ダイオード

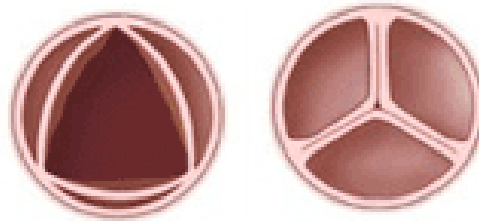


# 循環の要素：まとめ

心臓



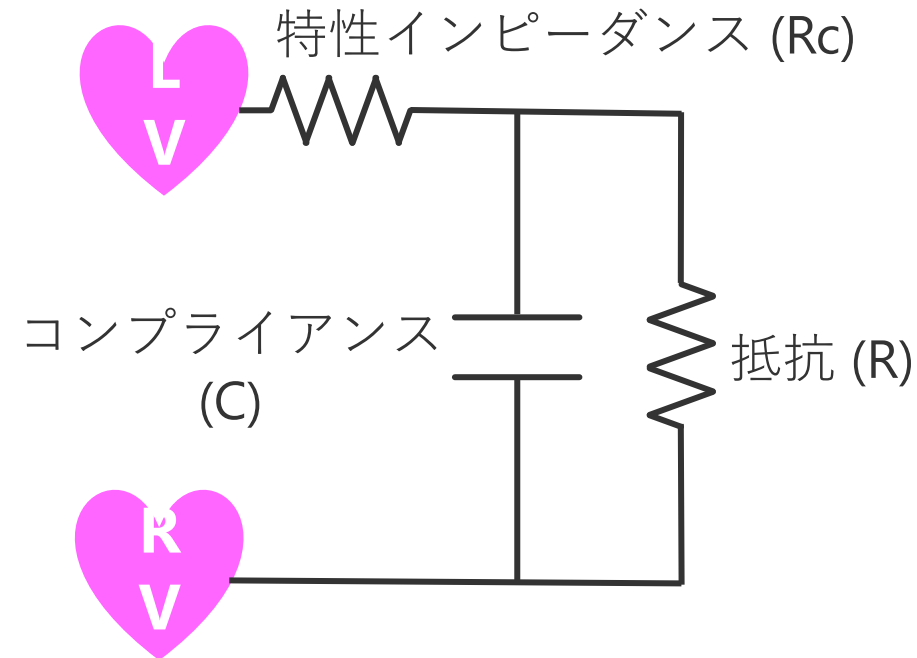
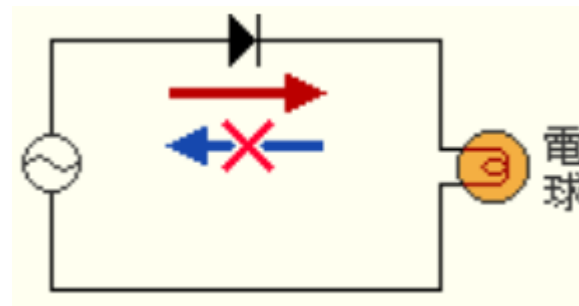
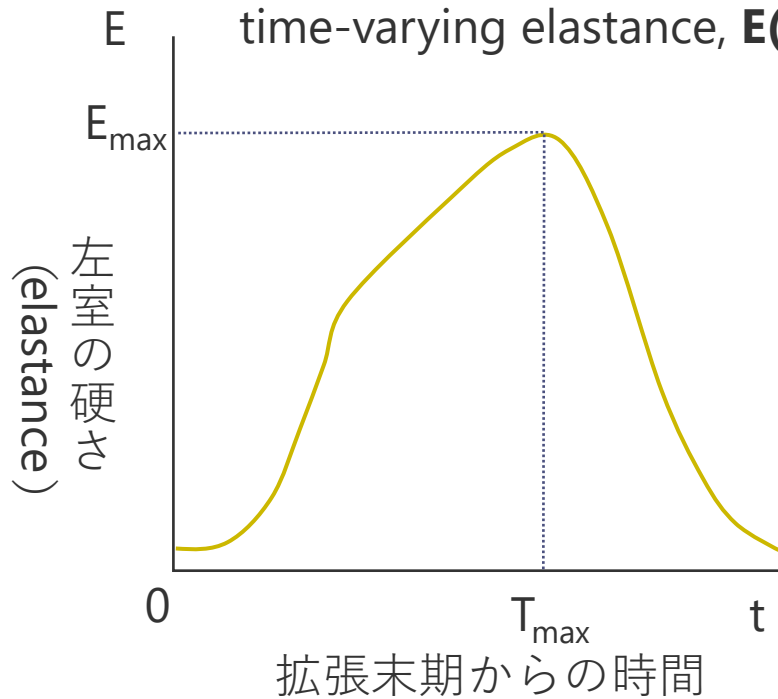
弁



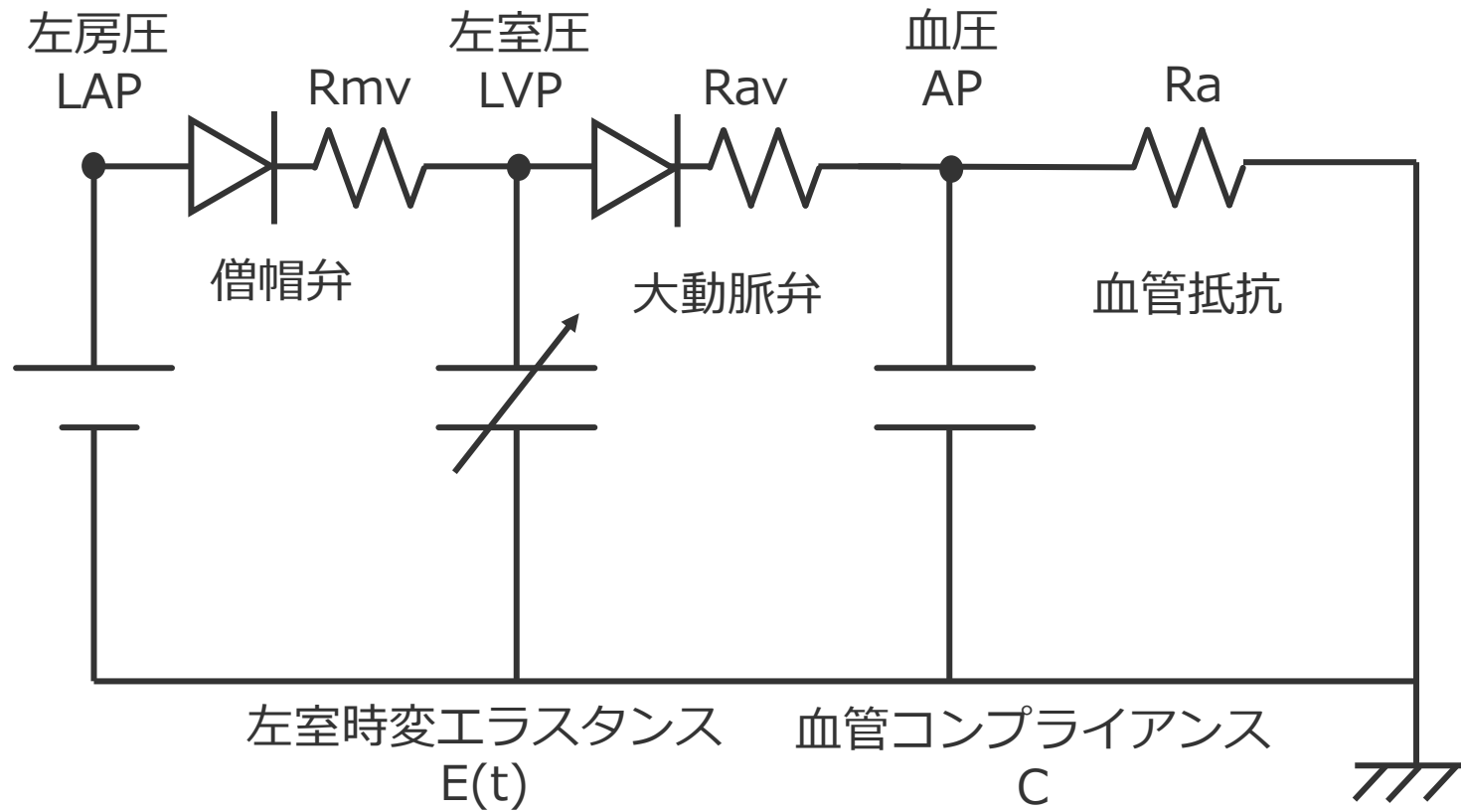
血管



時変エラスタンス：  
time-varying elastance,  $E(t)$

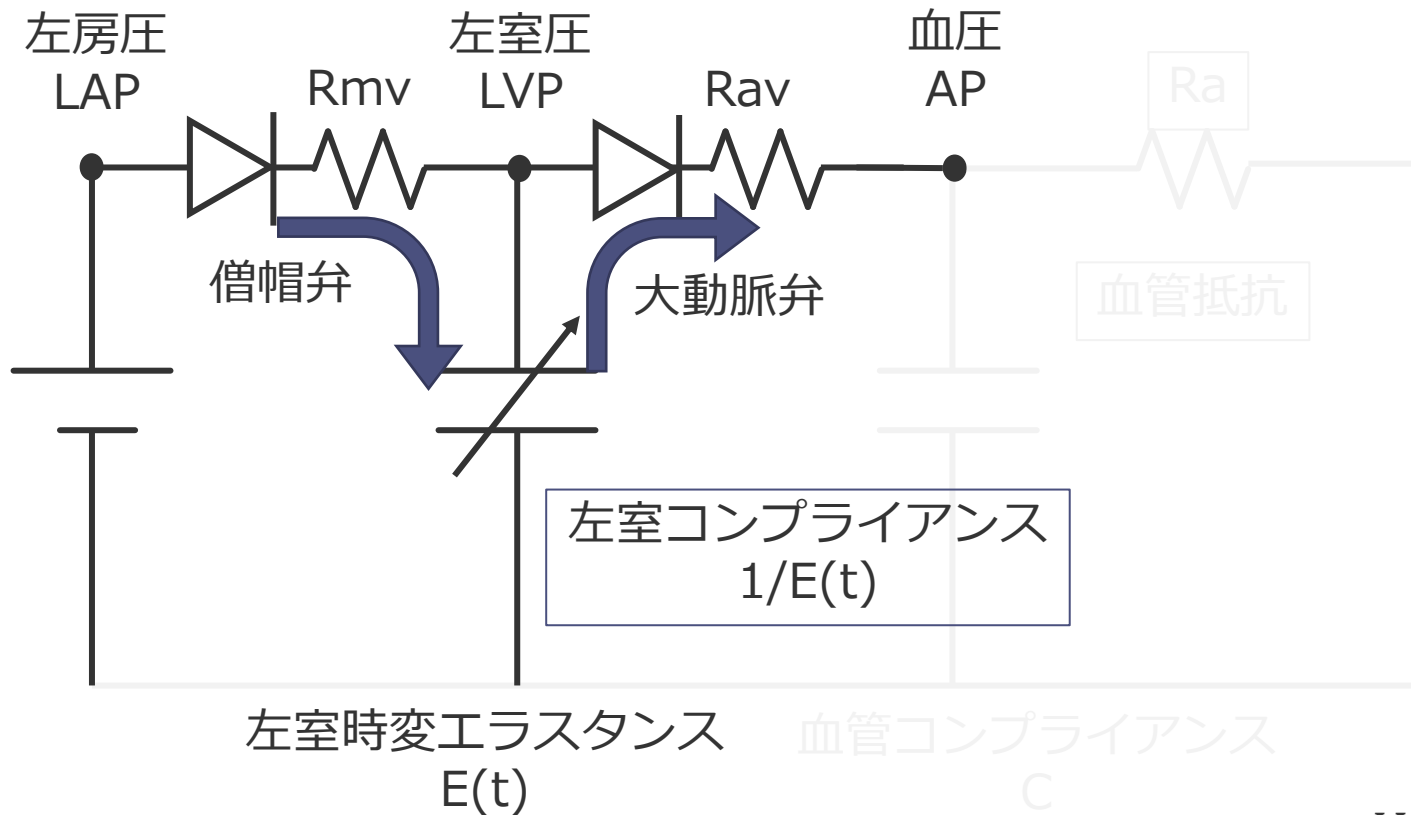


# 循環の要素を組み立てる



エラストランスとコンプライアンスの関係  
 $C=1/E$

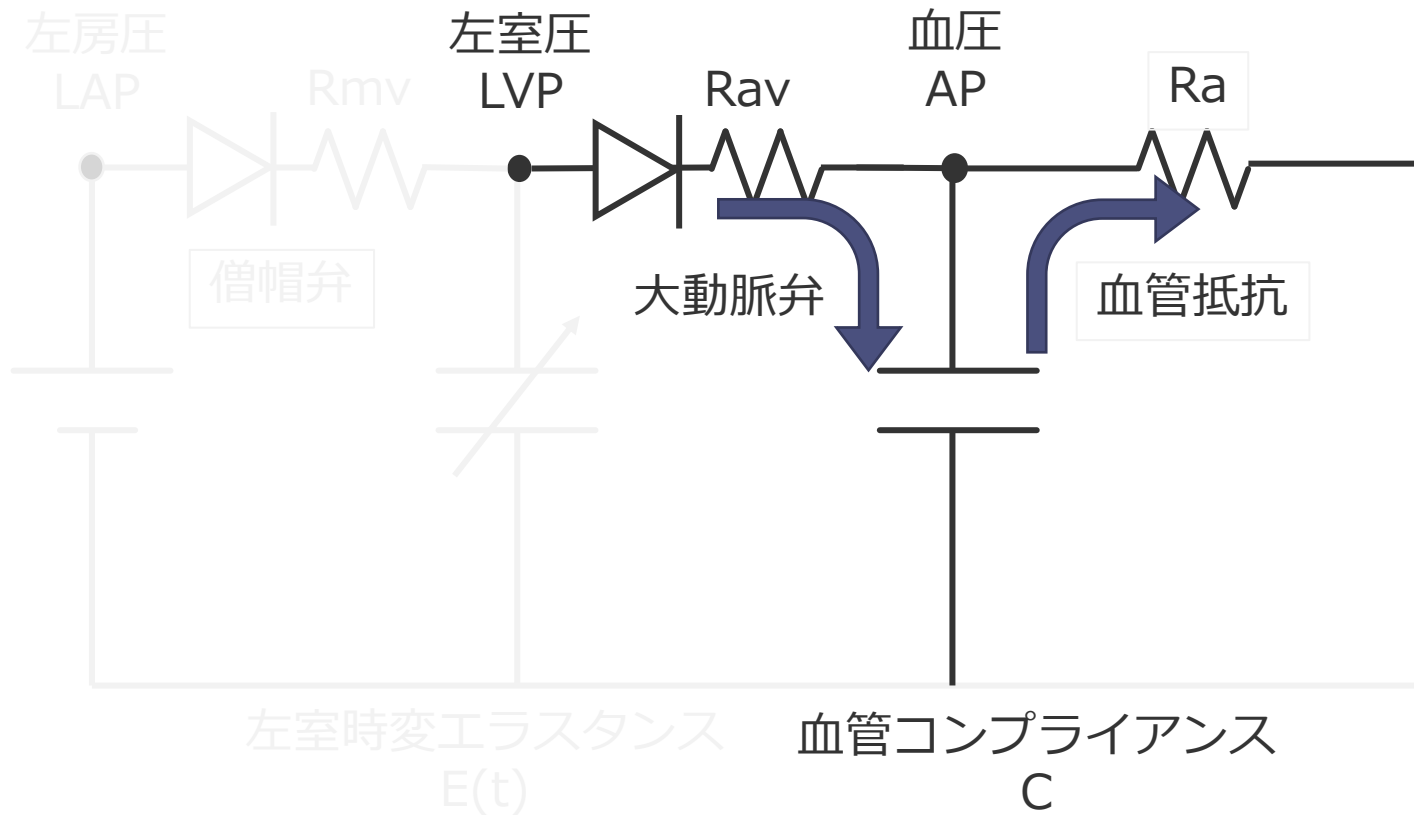
# 電荷（血液量）の出入りについて式を立てる



$$LVP(t) \times \frac{1}{E(t)}$$

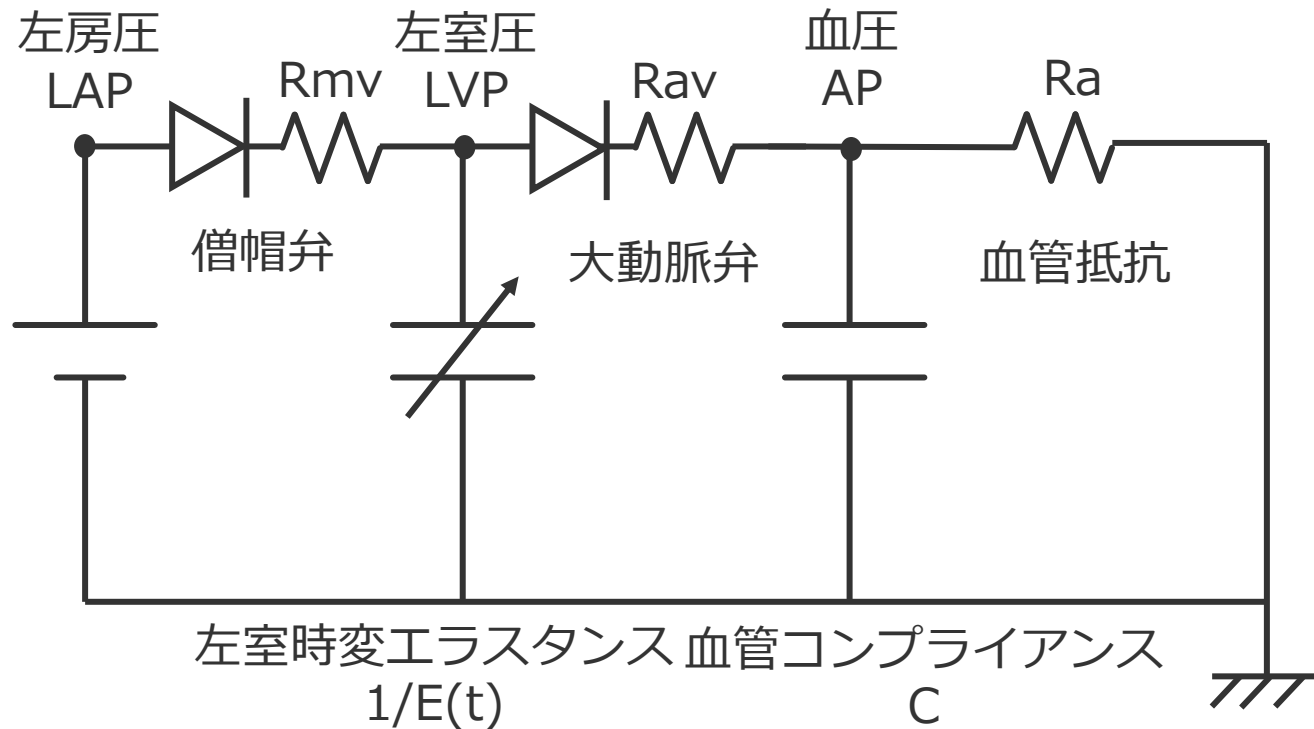
左室の中の電荷の量 = 左室容積

# 電荷（血液量）の出入りについて式を立てる



$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$

# 循環モデルから定義される式



$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$

# MATLAB/Simulink



MATLAB Online

サイト内検索

MATLAB Online

Web ブラウザーから  
MATLAB を使用

MATLAB Online の使用を開始する

MATLAB Online は特定のライセンスで利用で  
す。 [ご利用資格を確認してください。](#)

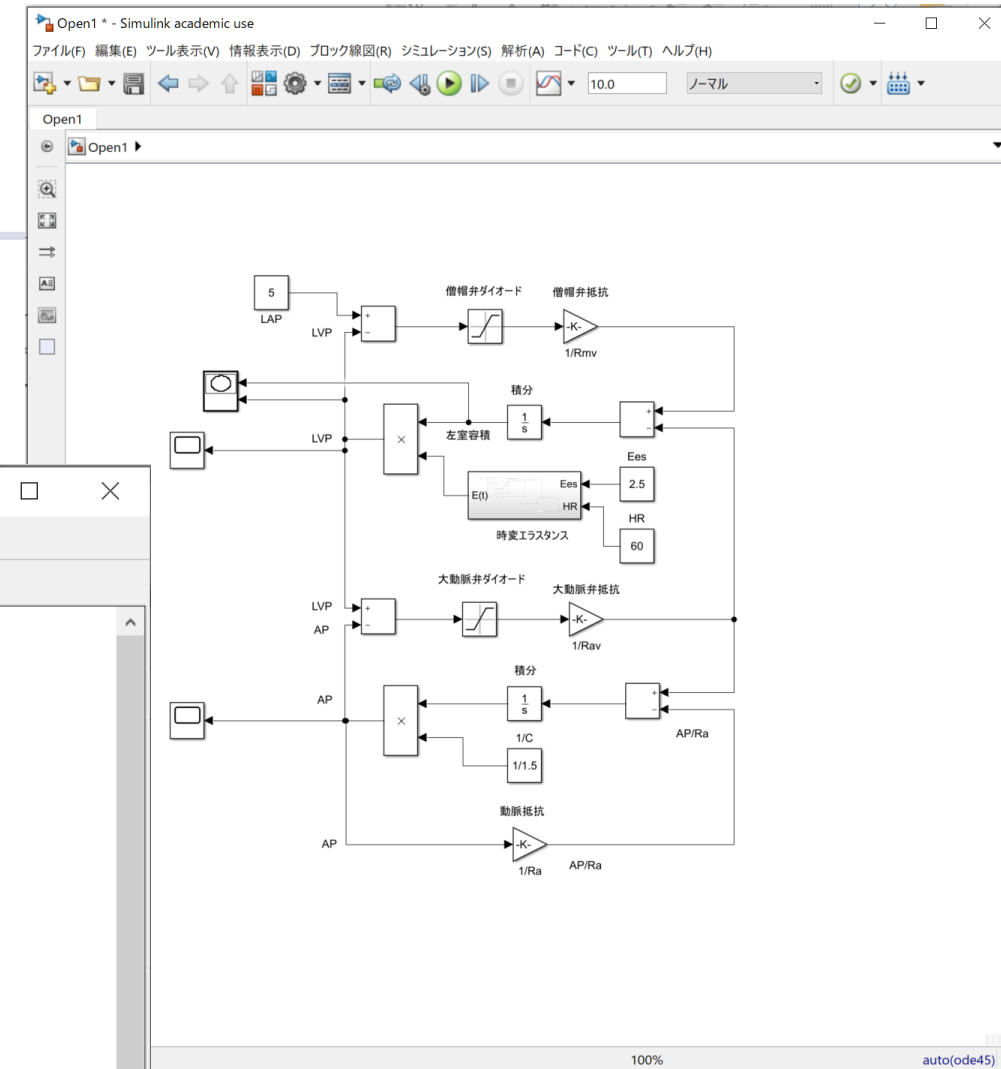
Simulink ライブラリ ブラウザー

検索語を入力

Simulink/Commonly Used Blocks

- Simulink
  - Commonly Used Blocks
  - Continuous
  - Dashboard
  - Discontinuities
  - Discrete
  - Logic and Bit Operations
  - Lookup Tables
  - Math Operations
  - Model Verification
  - Model-Wide Utilities
  - Ports & Subsystems
  - Signal Attributes
  - Signal Routing
  - Sinks
  - Sources
  - String
  - User-Defined Functions
  - Additional Math & Discrete
  - Quick Insert
  - Control System Toolbox
  - Data Acquisition Toolbox
  - DSP System Toolbox
  - DSP System Toolbox HDL Support
  - Fuzzy Logic Toolbox
  - HDL Coder
  - Instrument Control Toolbox
  - Model Predictive Control Toolbox

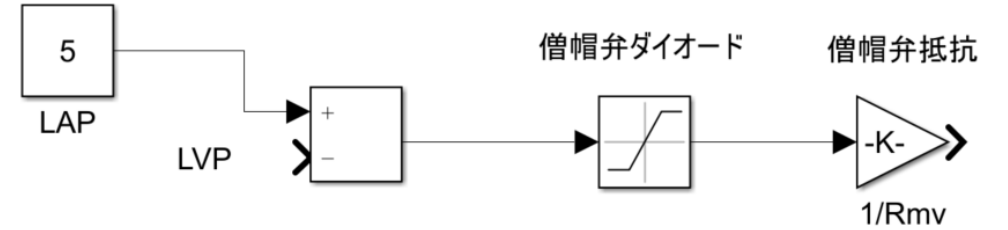
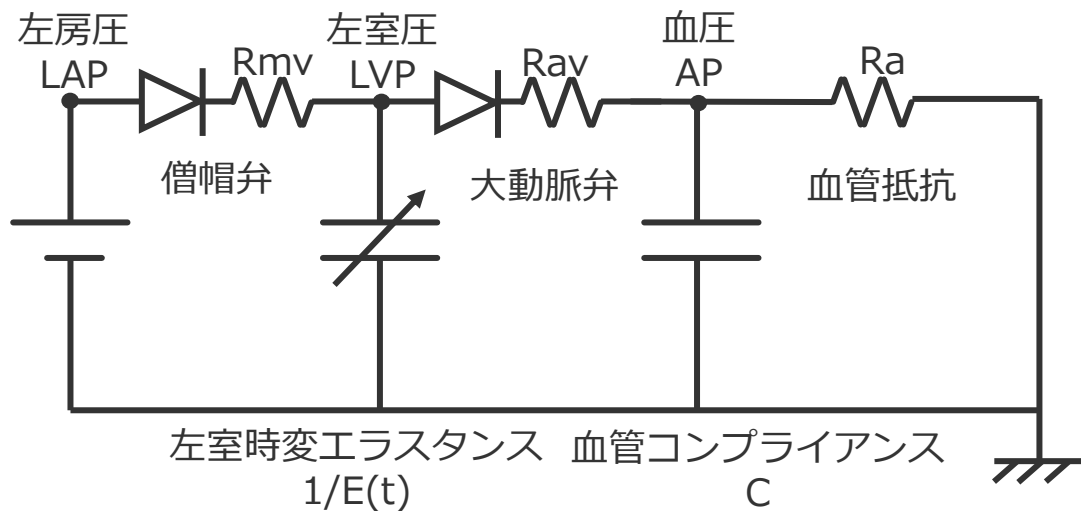
Bus Creator	Bus Selector
Constant	Data Type Conversion
Delay	Demux
Discrete-Time Integrator	Gain
Ground	In1
Integrator	Logical Operator
Mux	Out1



# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$

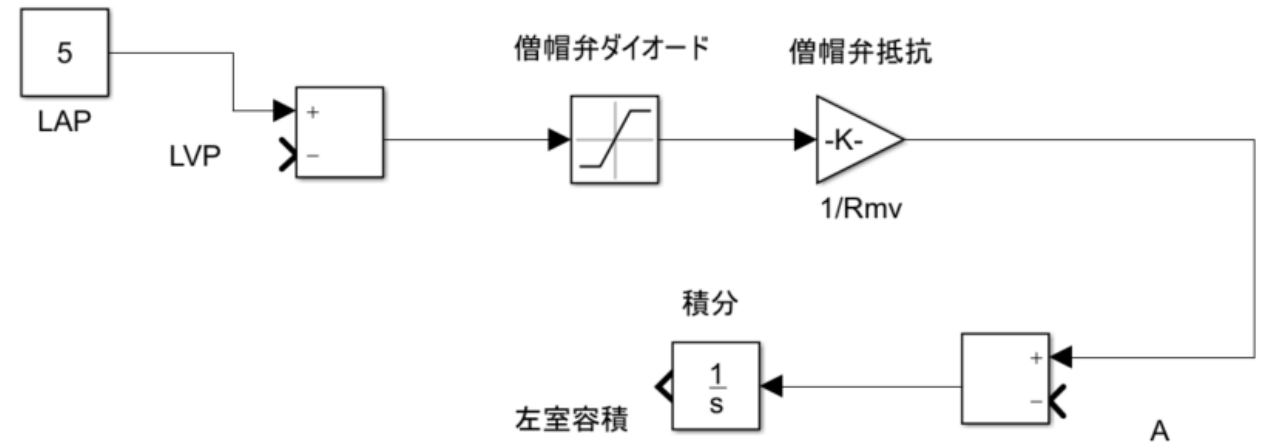
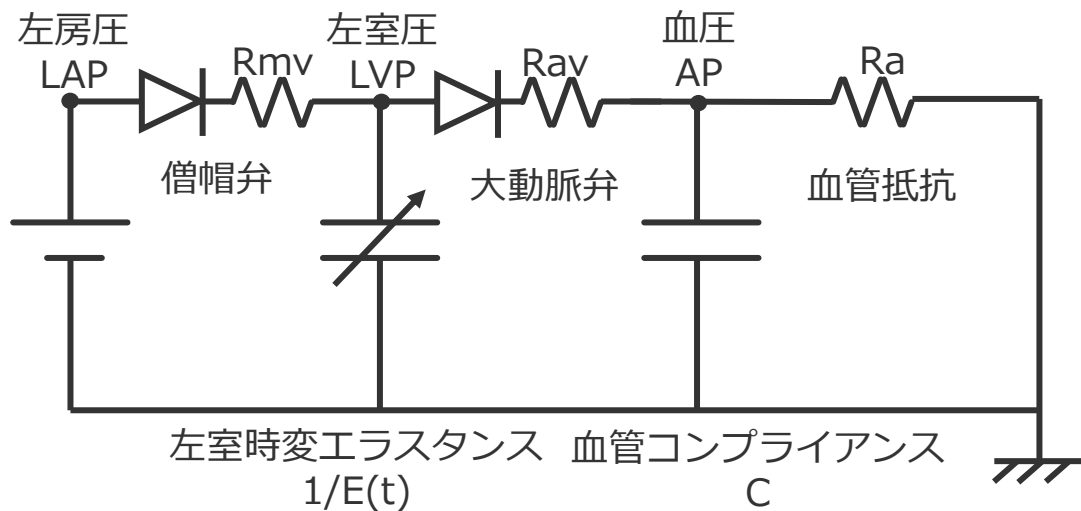




# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

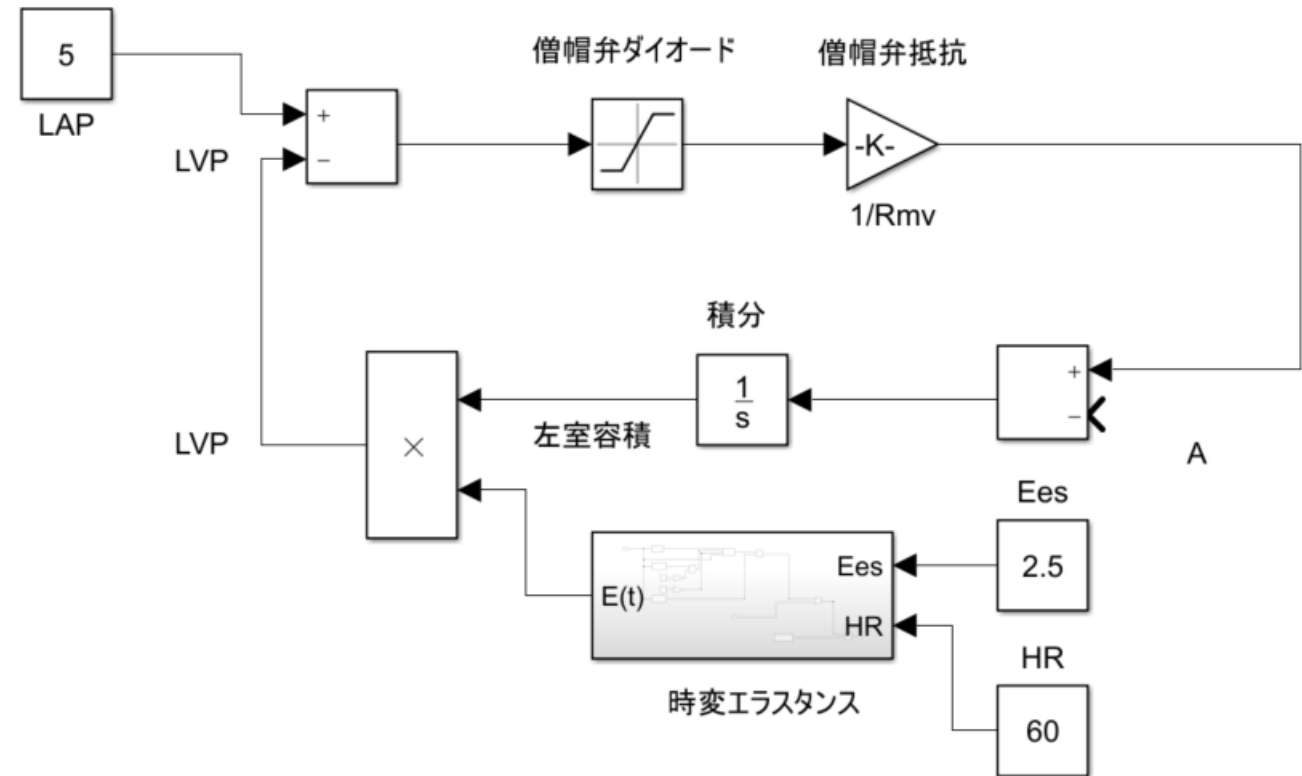
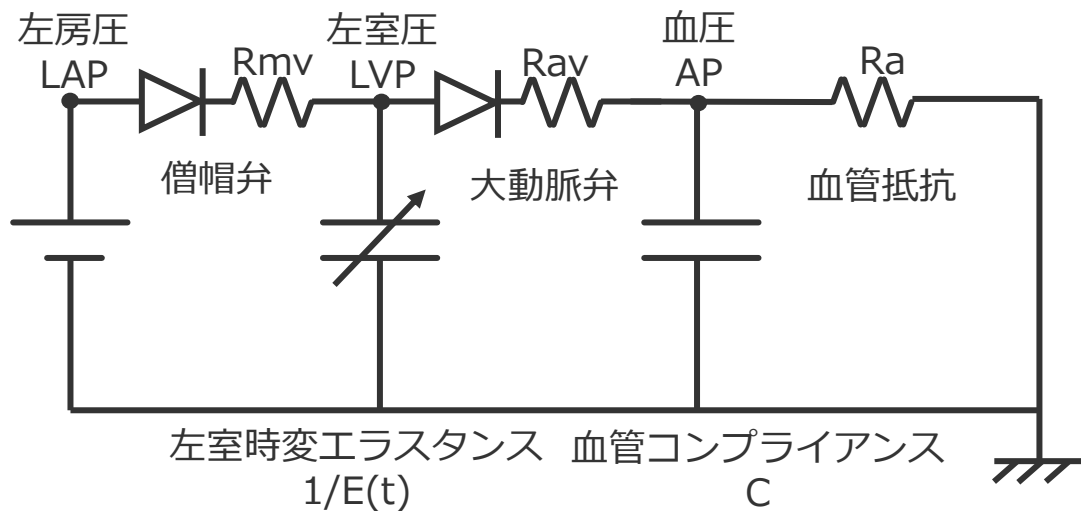
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

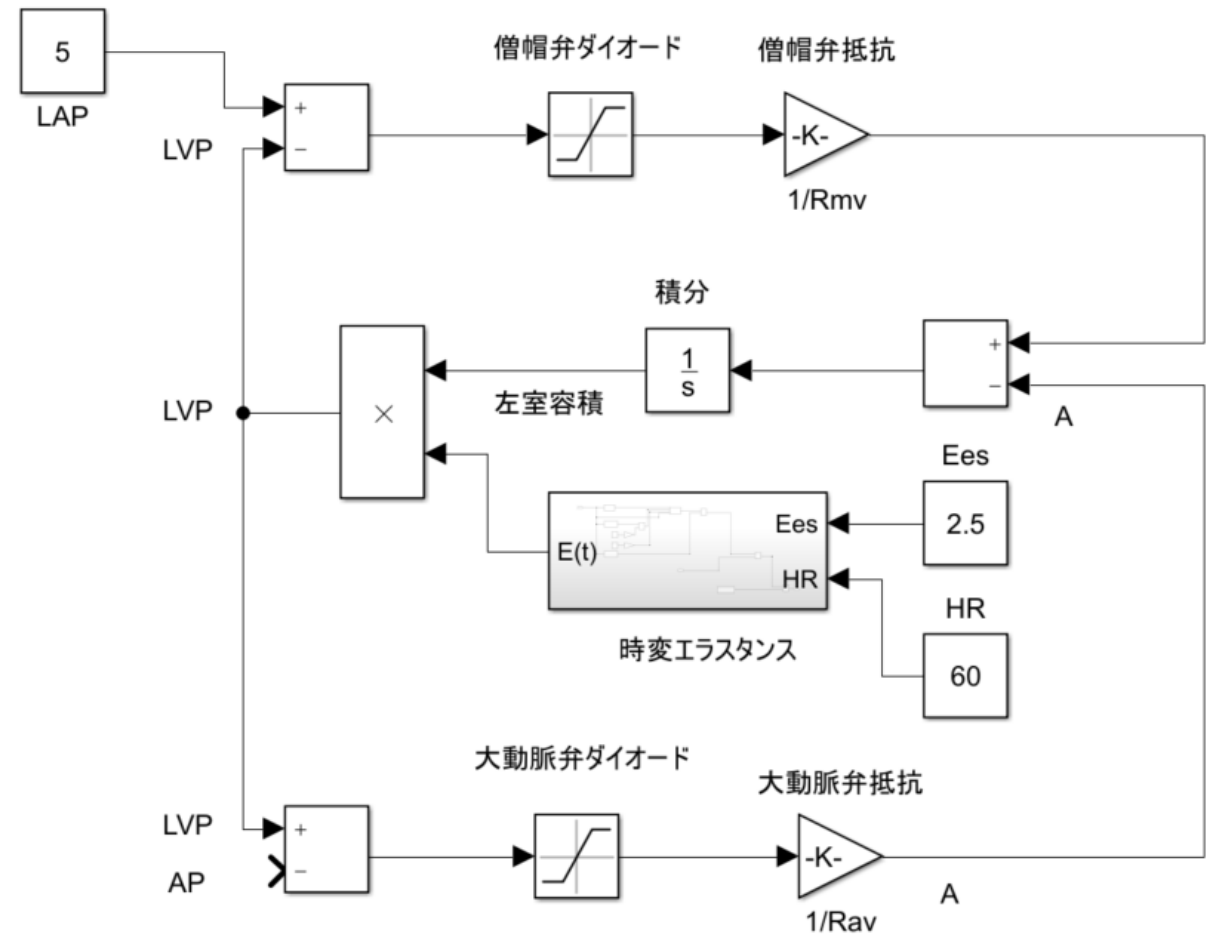
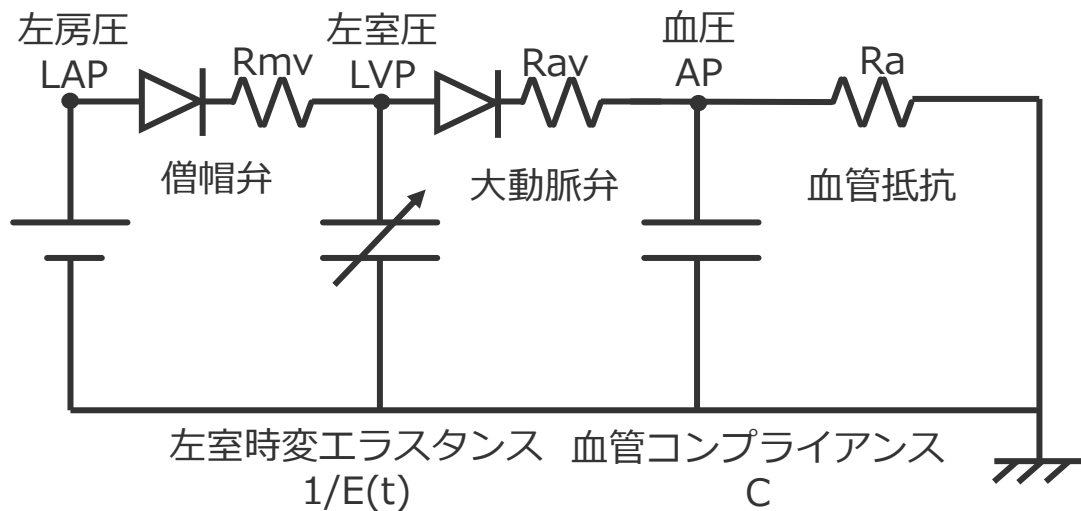
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

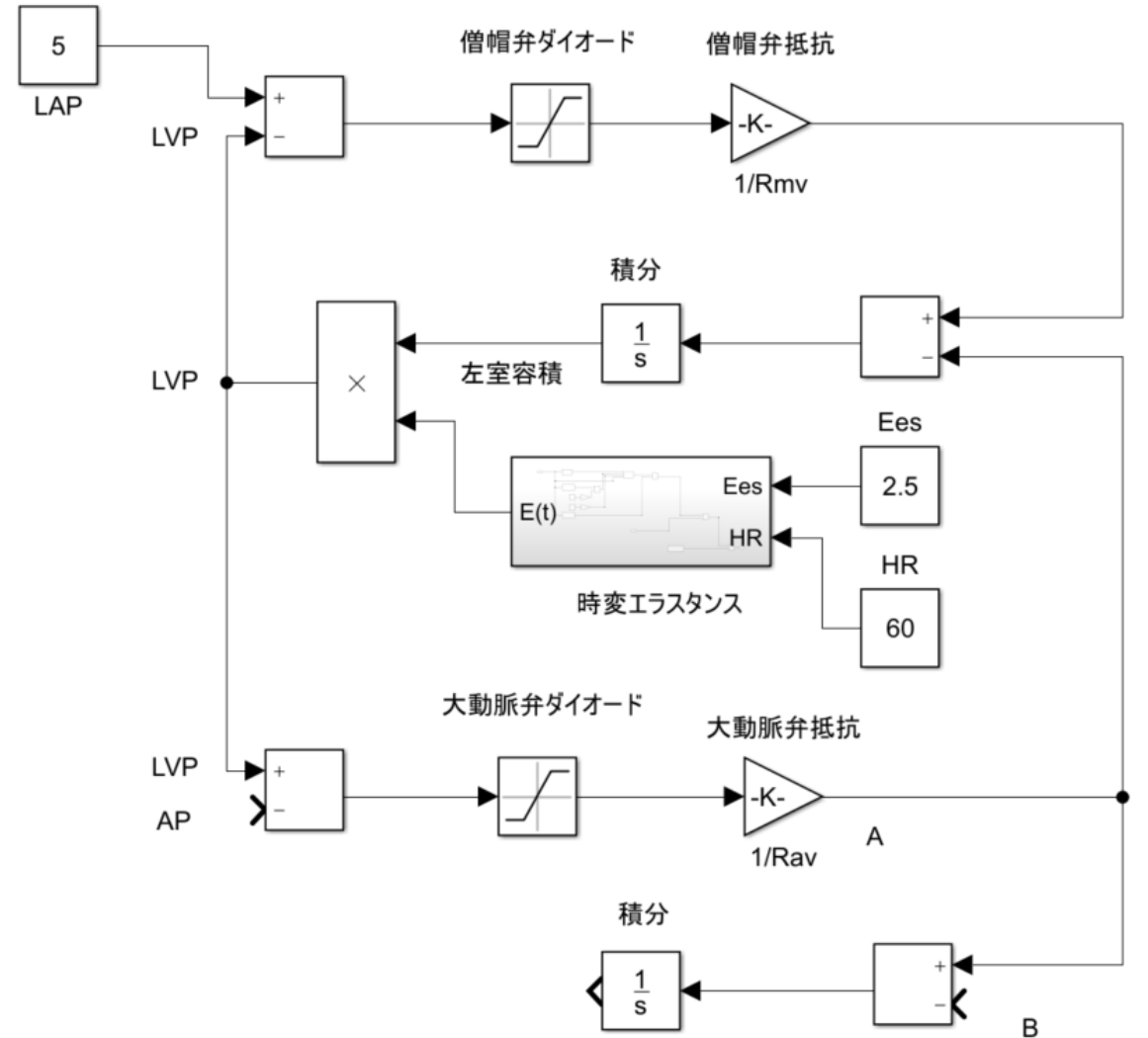
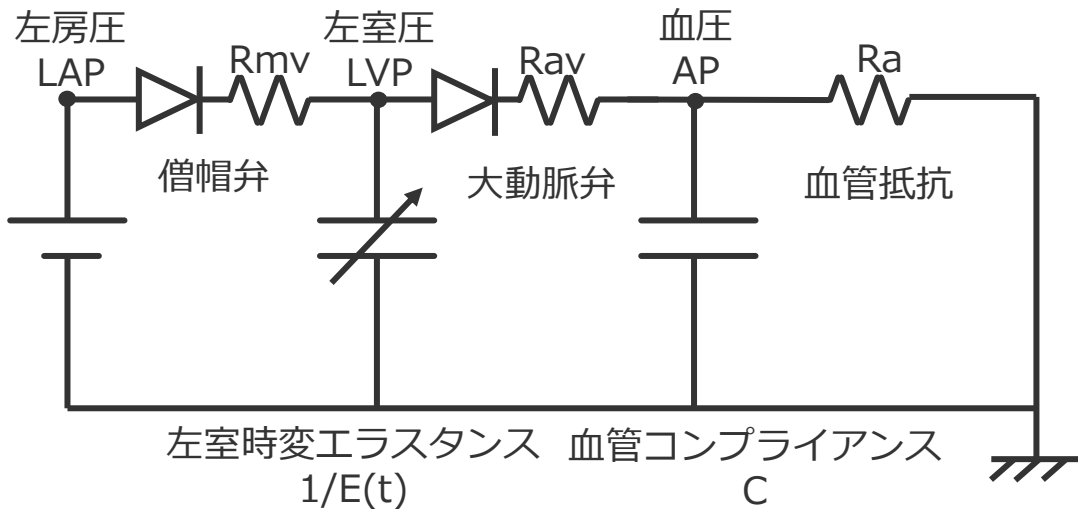
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

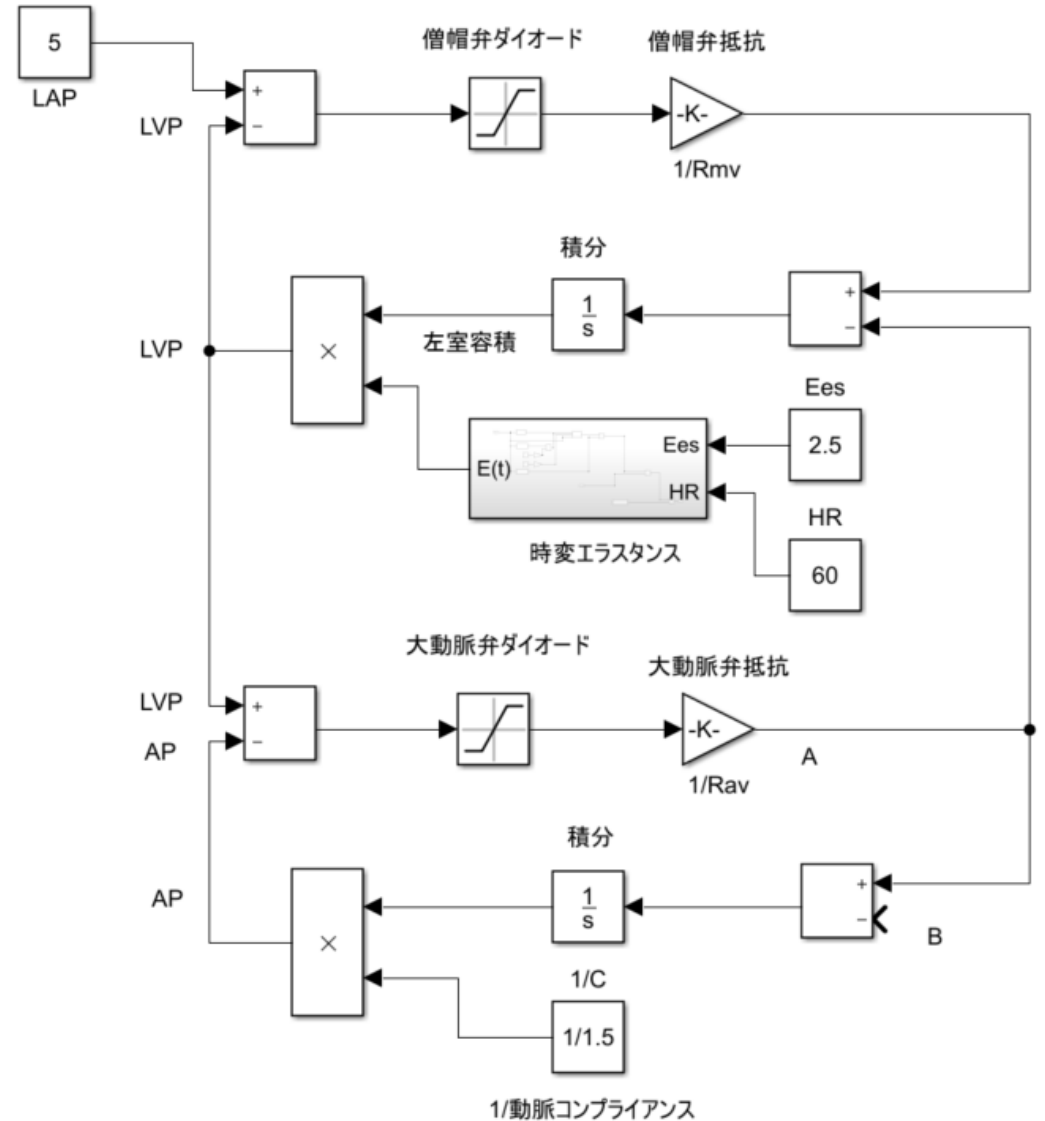
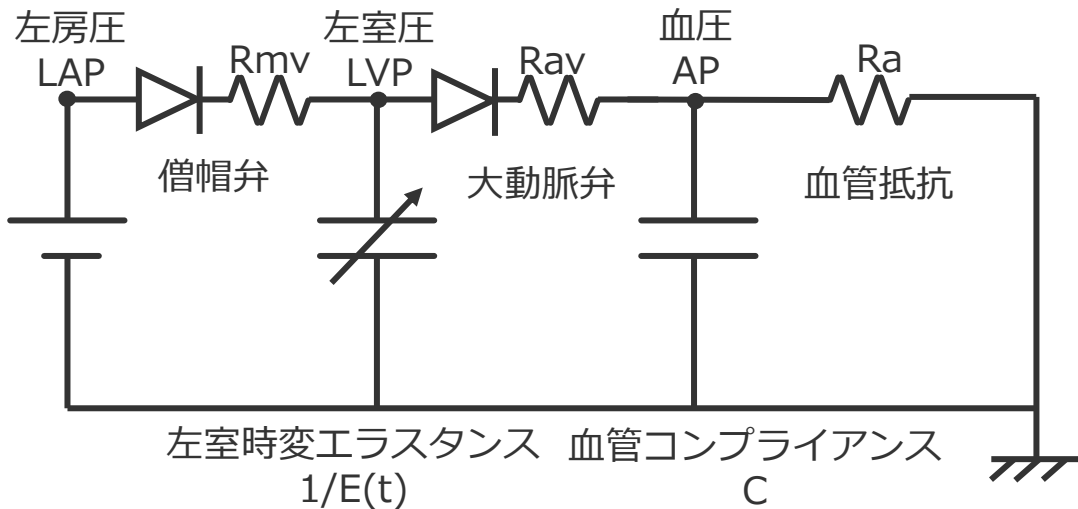
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

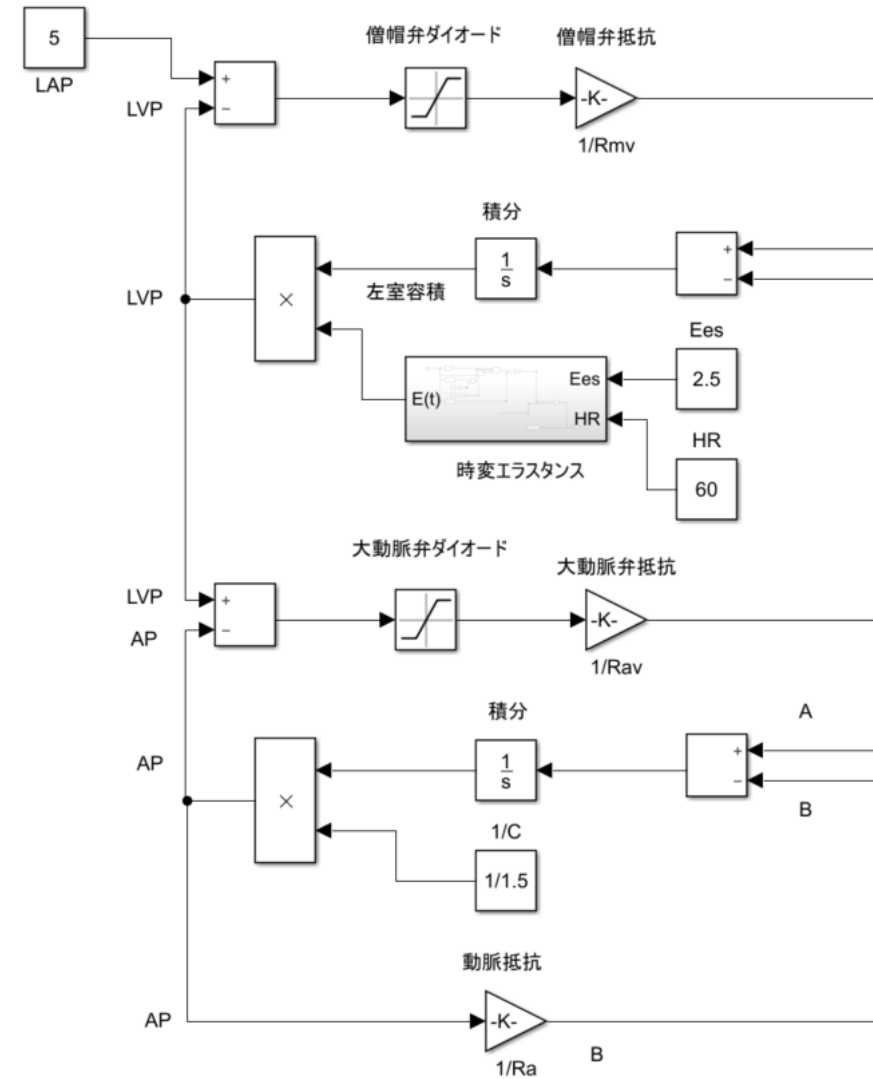
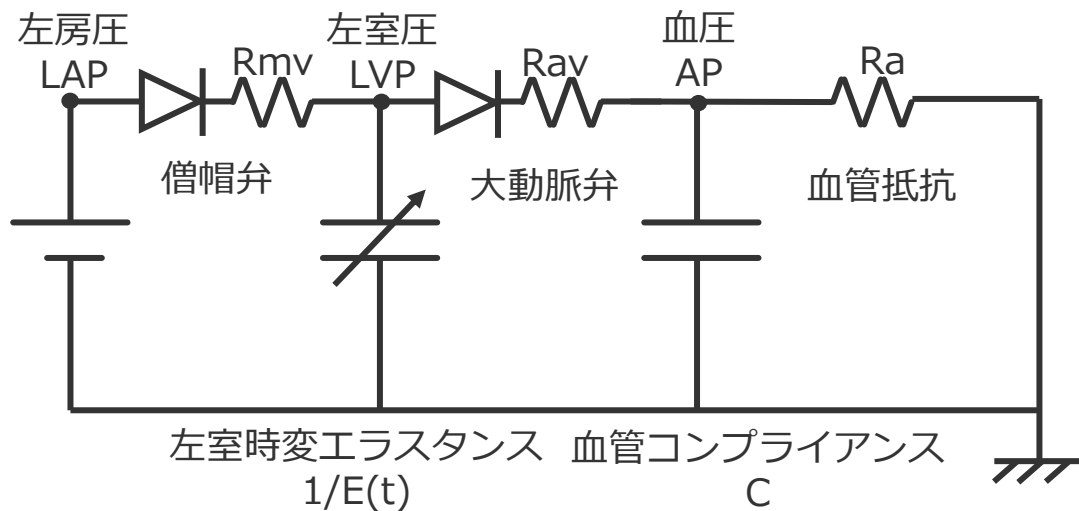
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



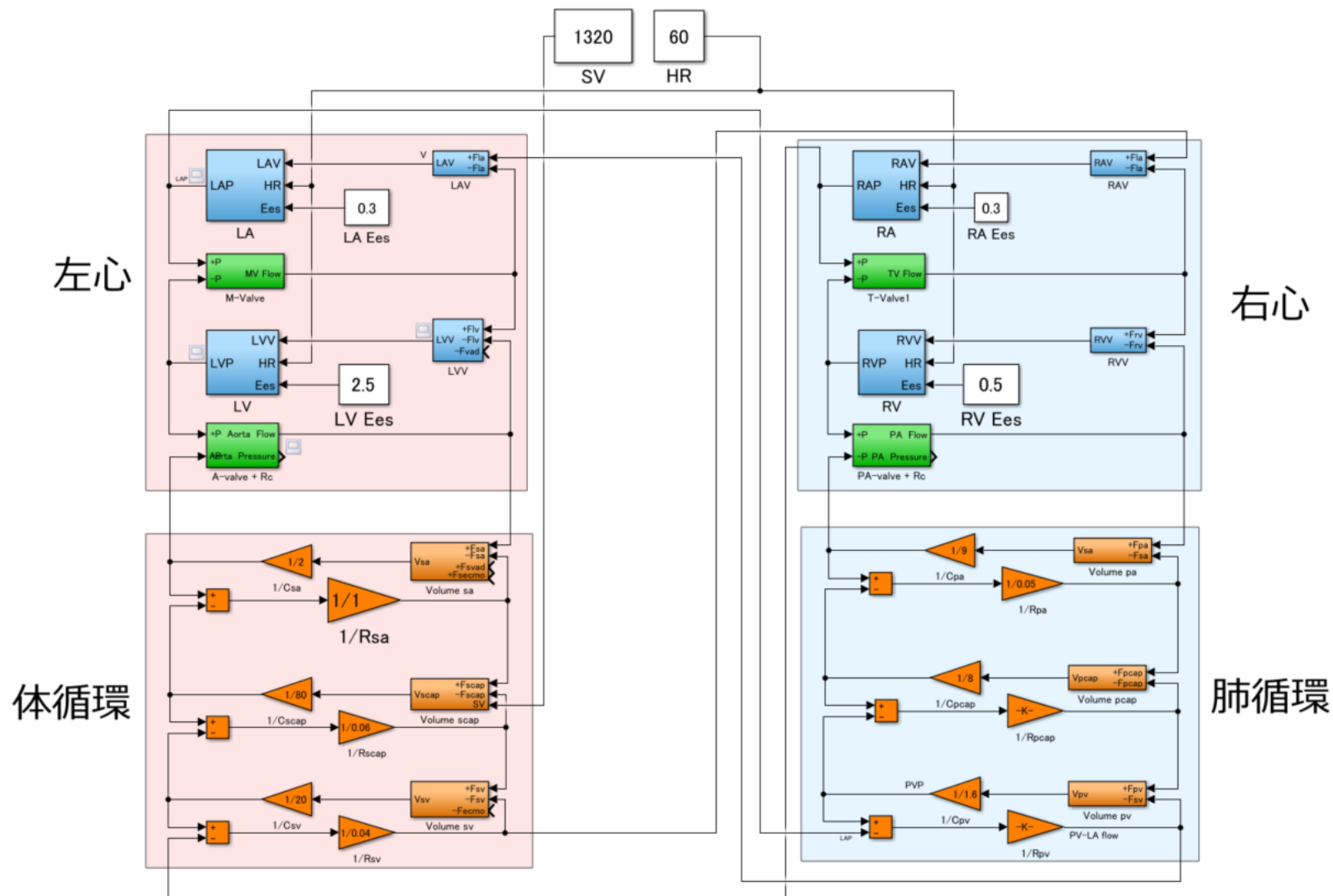
# Simulinkへの落とし込み

$$LVP \times \frac{1}{E(t)} = \int \left( \frac{LAP - LVP}{R_{mv}} - \frac{LVP - AP}{R_{av}} \right) dt$$

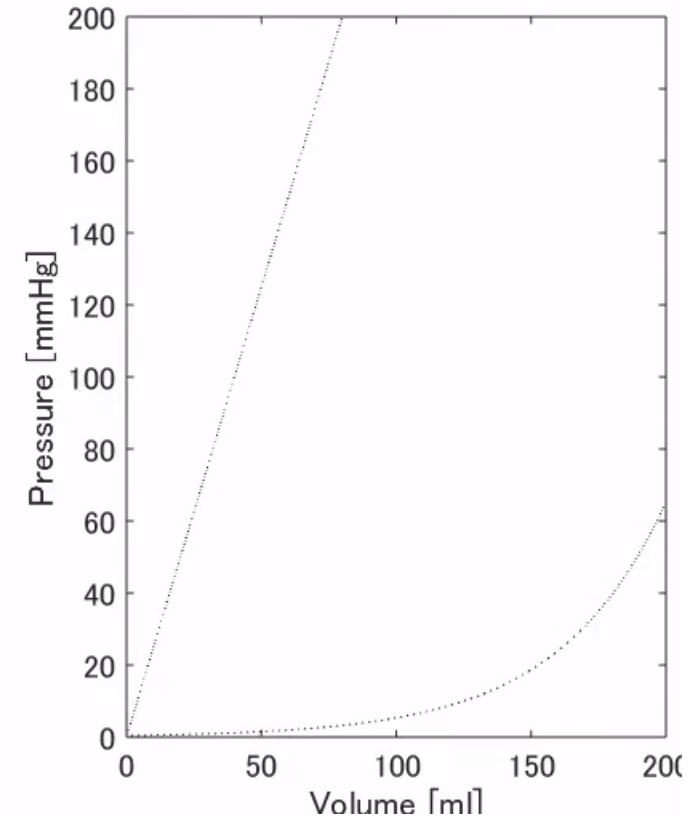
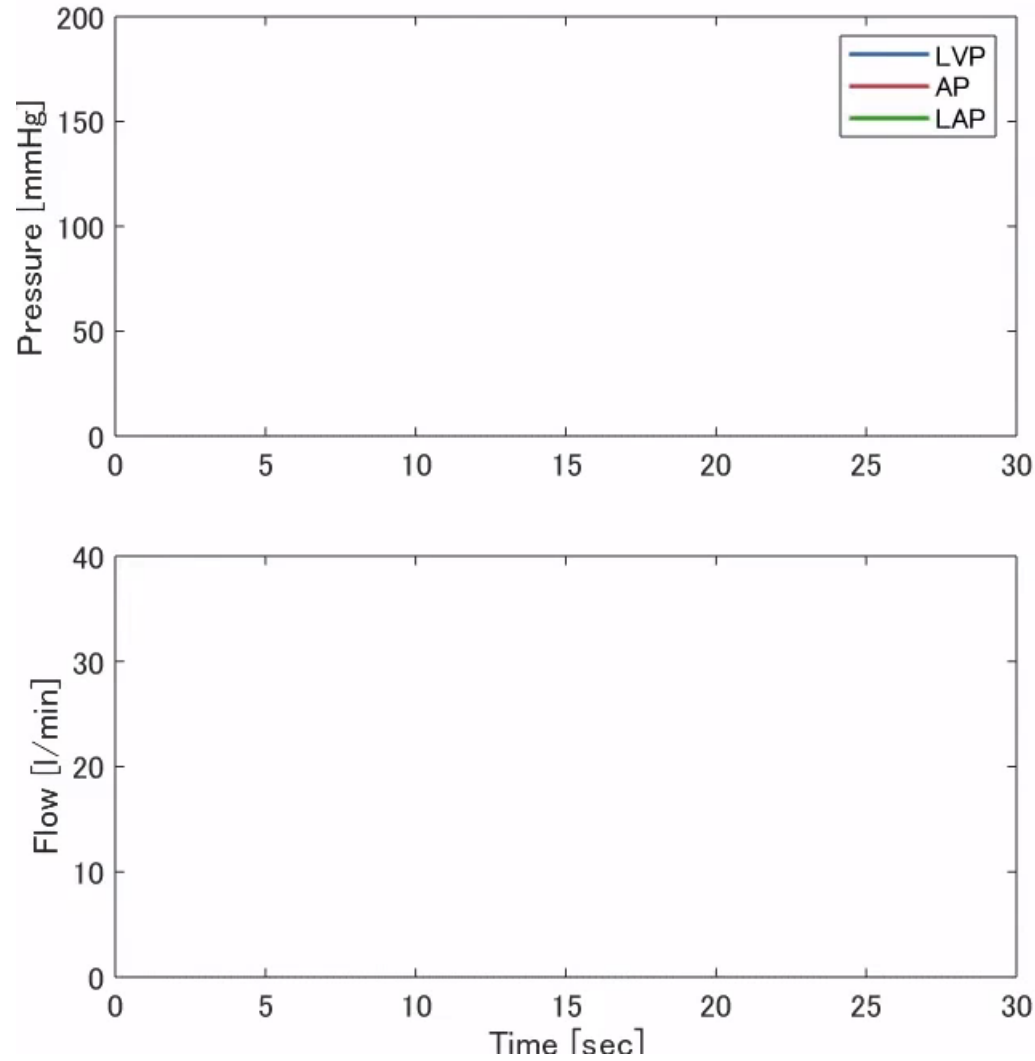
$$AP \times C = \int \left( \frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



# 全身循環モデル



# 収縮性が低下した時





# まとめ

---

- 循環は心臓、血管、弁などの要素に分割することができ、これらを統合することにより決定している。
- 心臓は時変エラスタンスでモデル化することができる。
- 血管はWind-Kesselモデルを用いてモデル化することができる。
- これらの要素により構成される回路により循環をsimulationできる。
- Simulatorの原理が理解できれば、様々な病態や治療介入への応答などをsimulationすることができる。
- Simulinkは直感的に循環simulationできるuser friendlyなtoolである。