

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

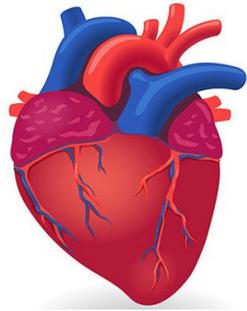
発表者：坂本 隆史

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

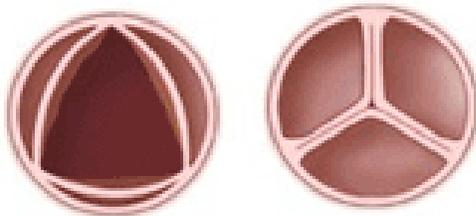
循環要素の性質



心臓



血管



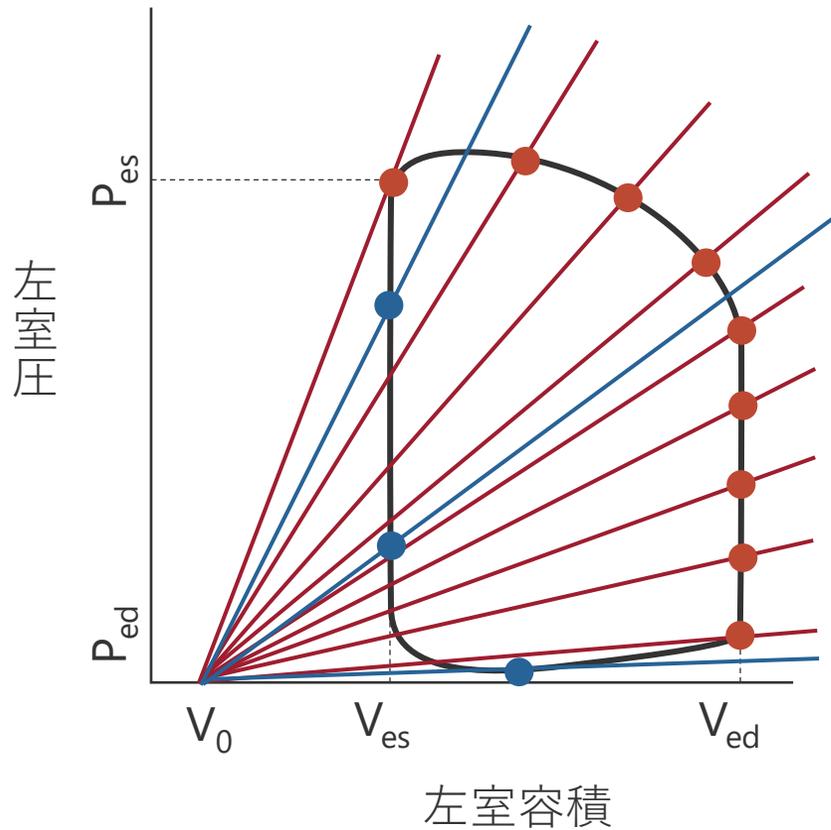
弁



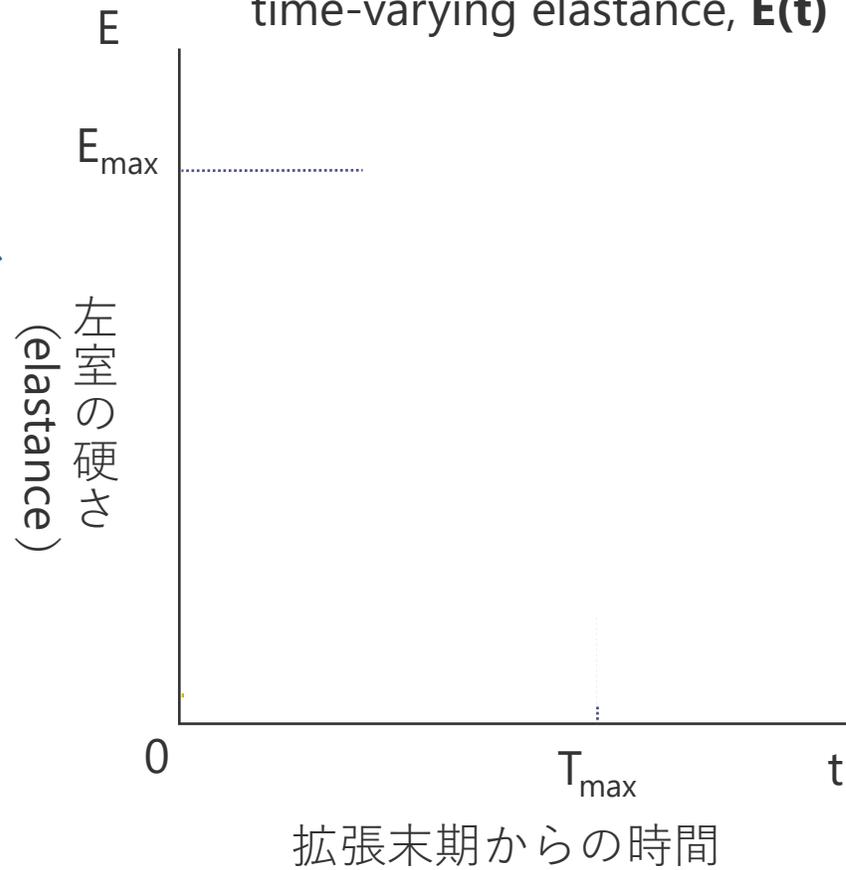
循環全体の働き



心臓のモデル化：時変エラスタンスモデル



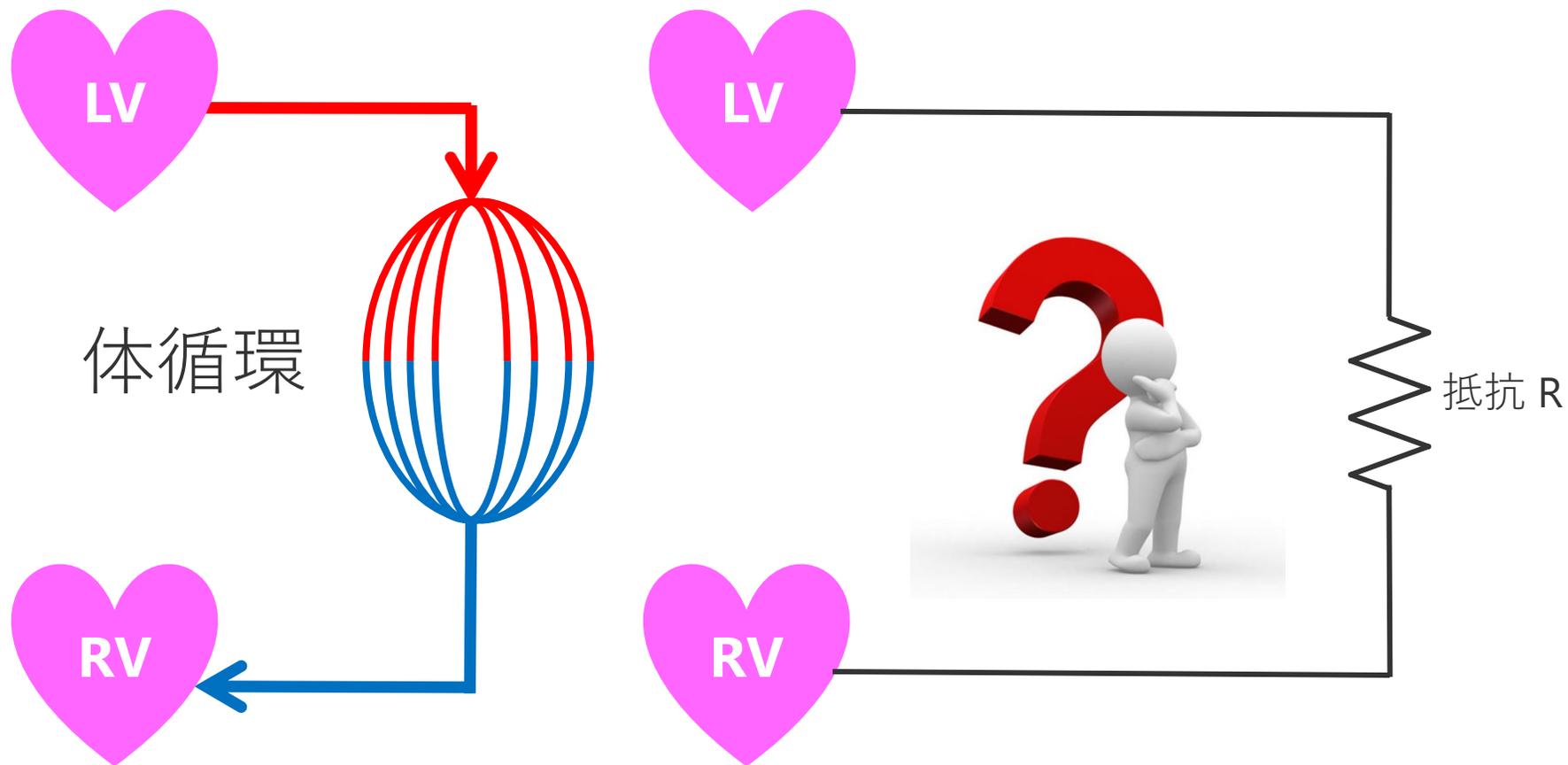
時変エラスタンス：
time-varying elastance, $E(t)$



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、

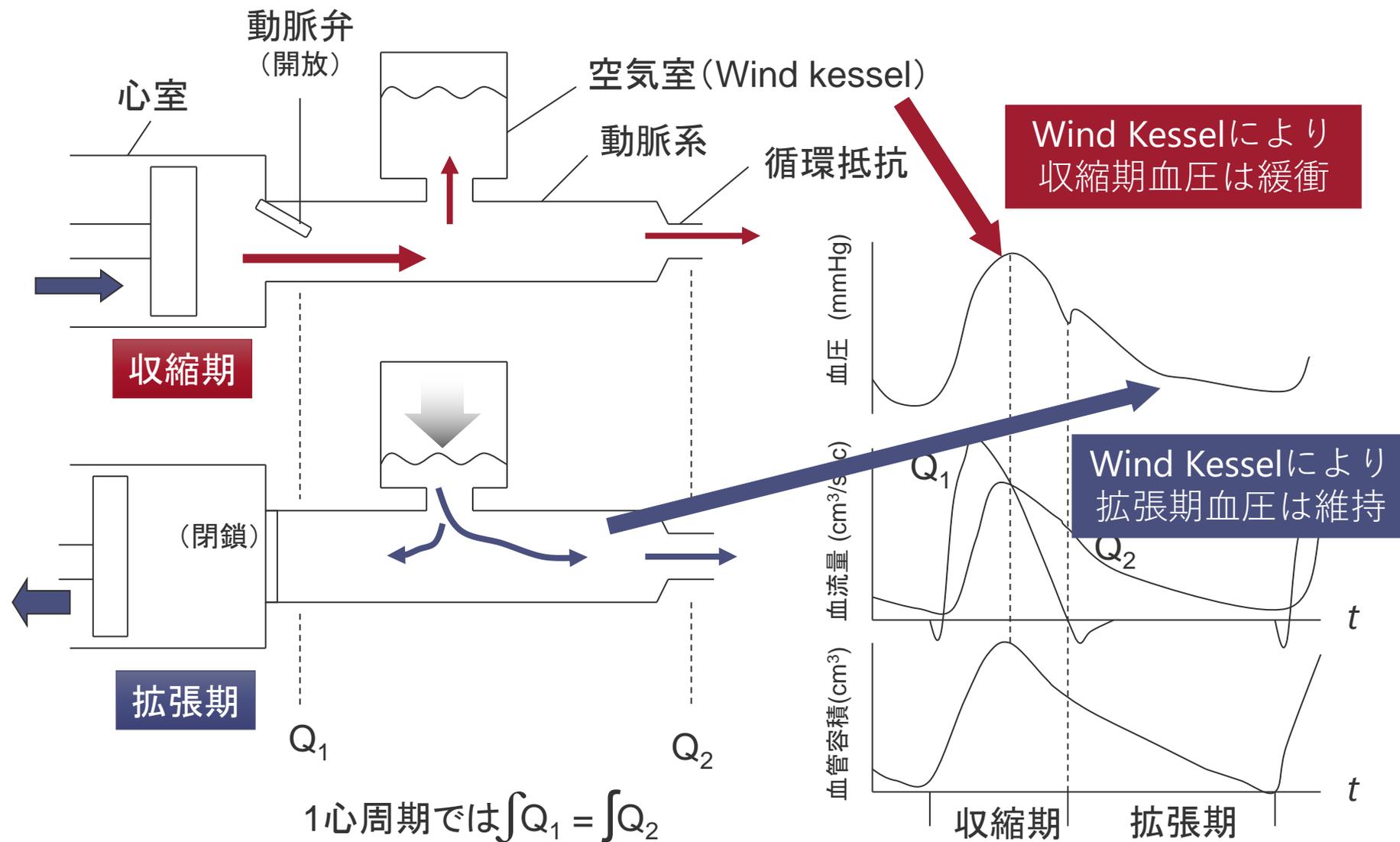
$$P(t) = E(t) \times V(t)$$

血管のモデル化：回路で考える

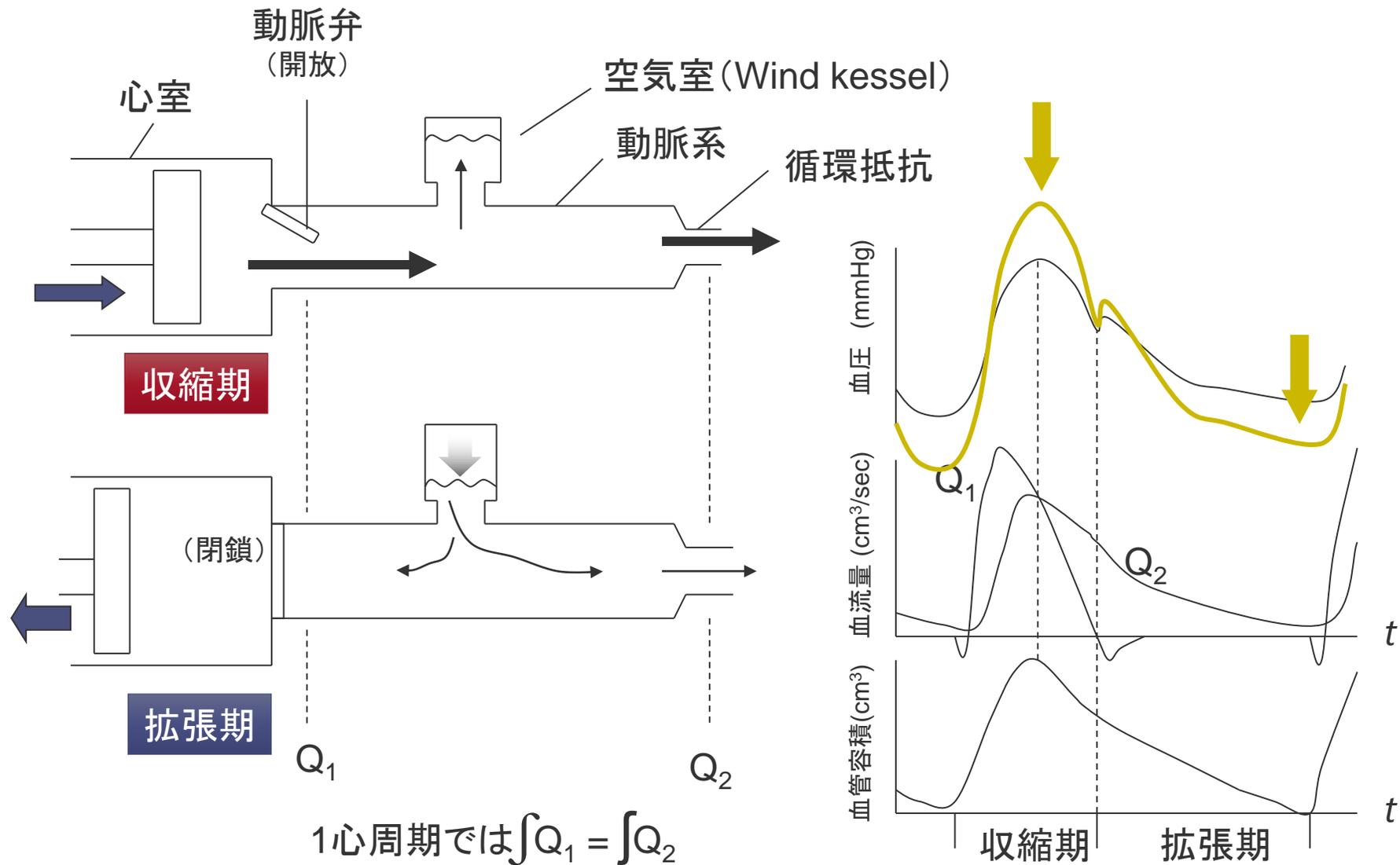


実際にはもうちょっと複雑

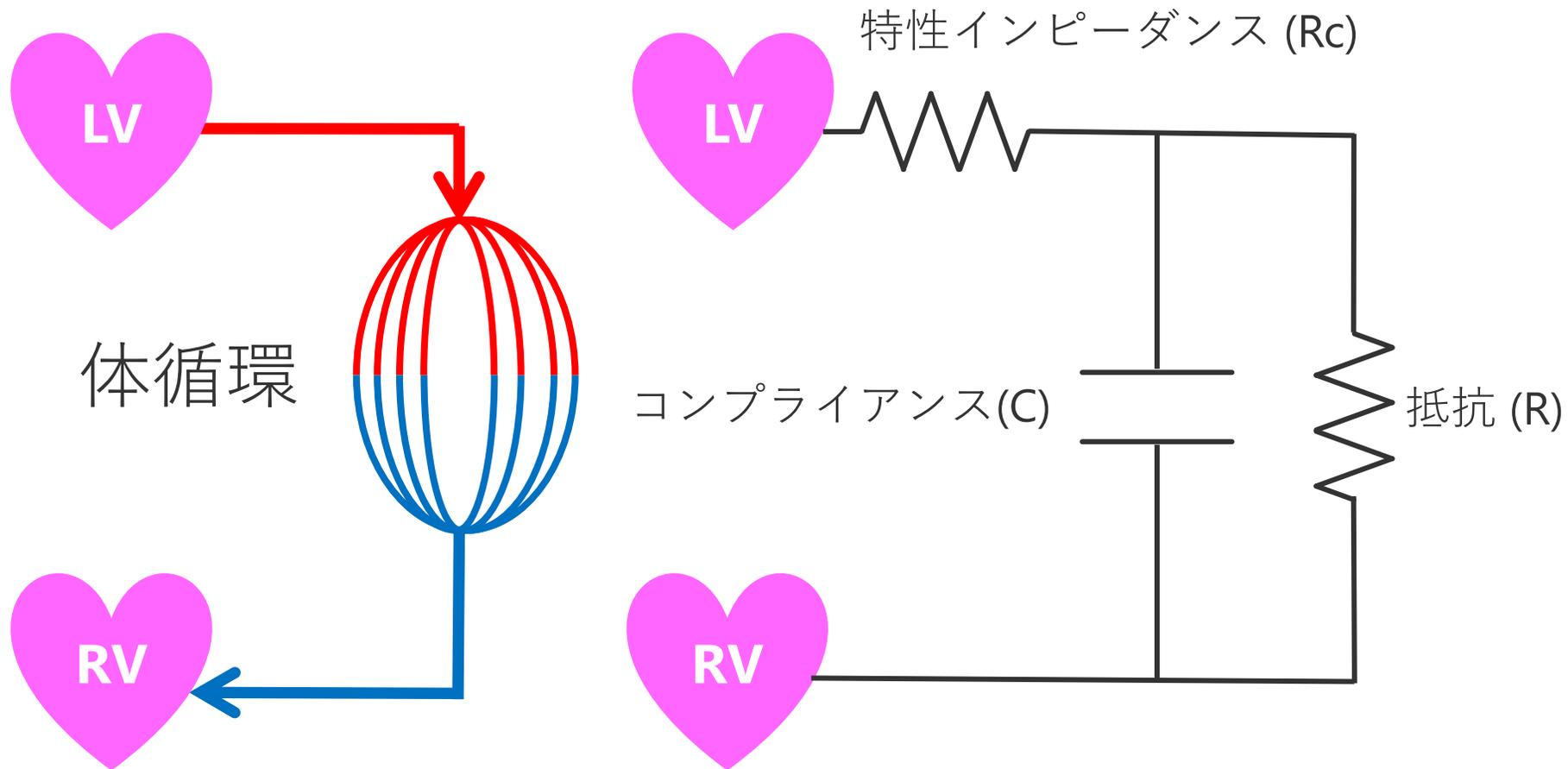
血管のモデル化：Wind-Kesselモデル



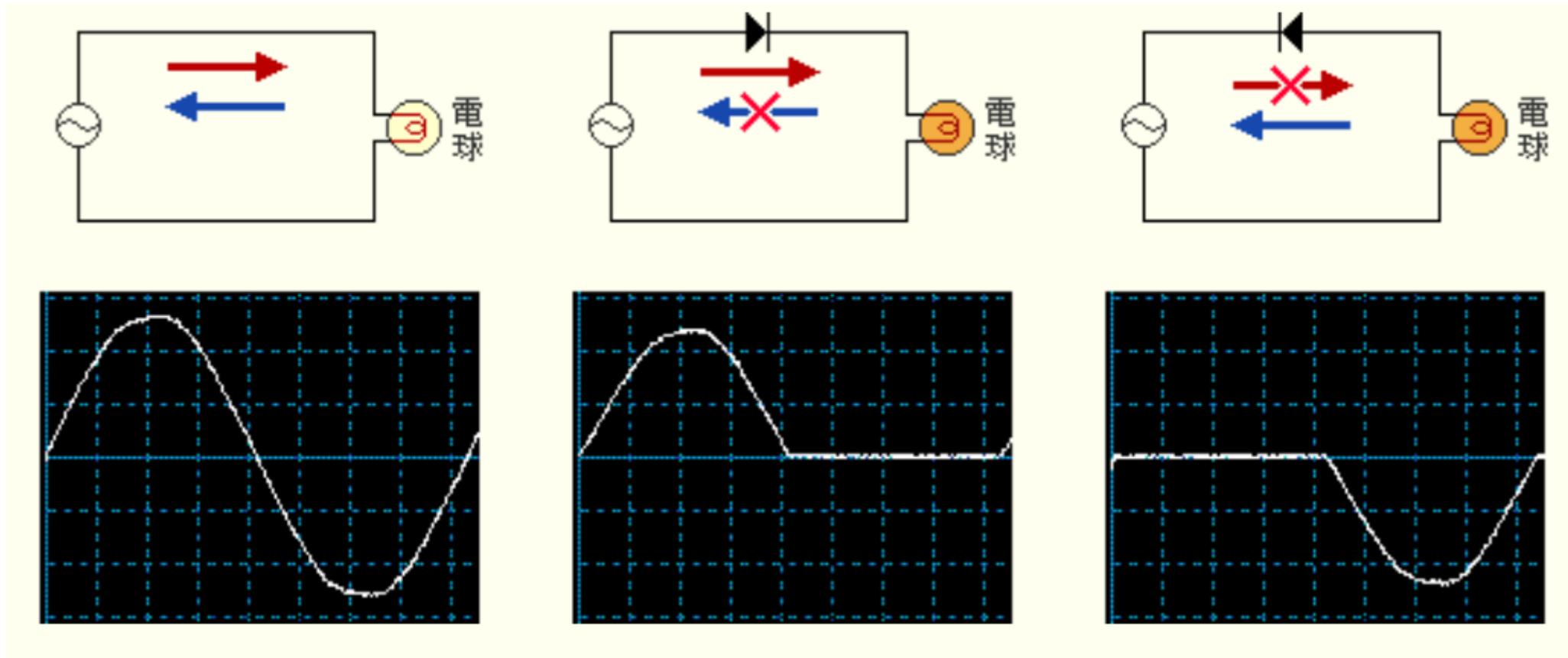
血管のモデル化：Wind-Kesselモデル



血管のモデル化：Wind-Kesselモデル

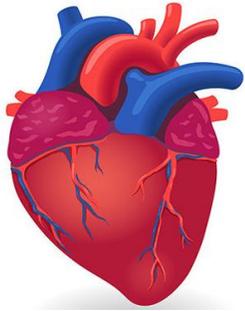


弁のモデル化：ダイオード

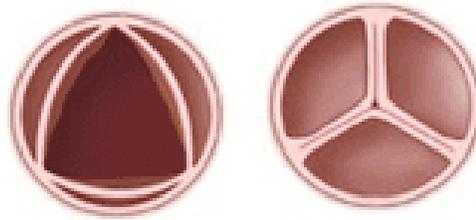


循環の要素：まとめ

心臓



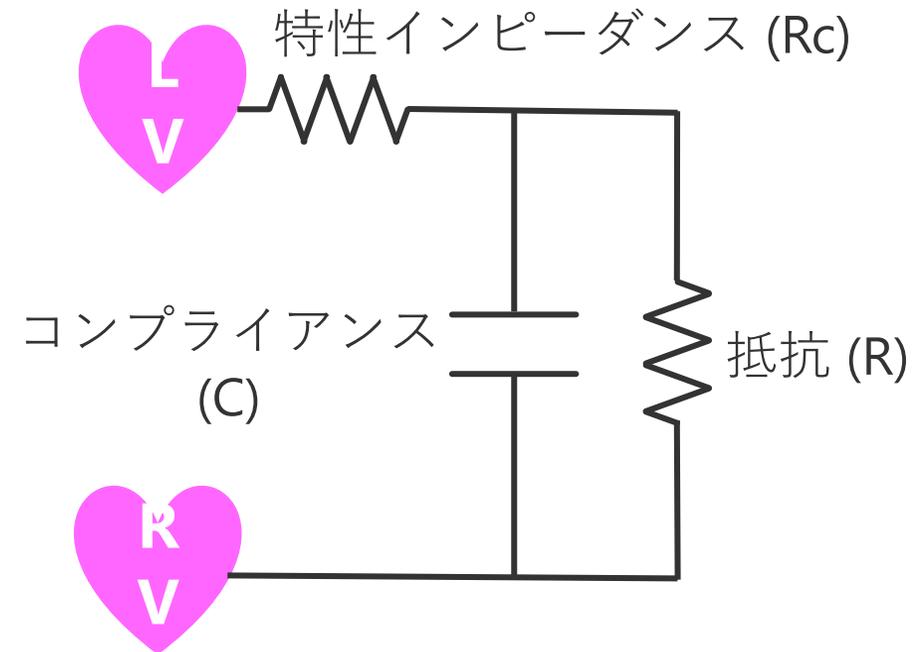
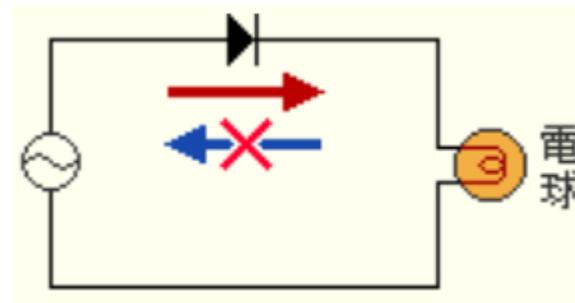
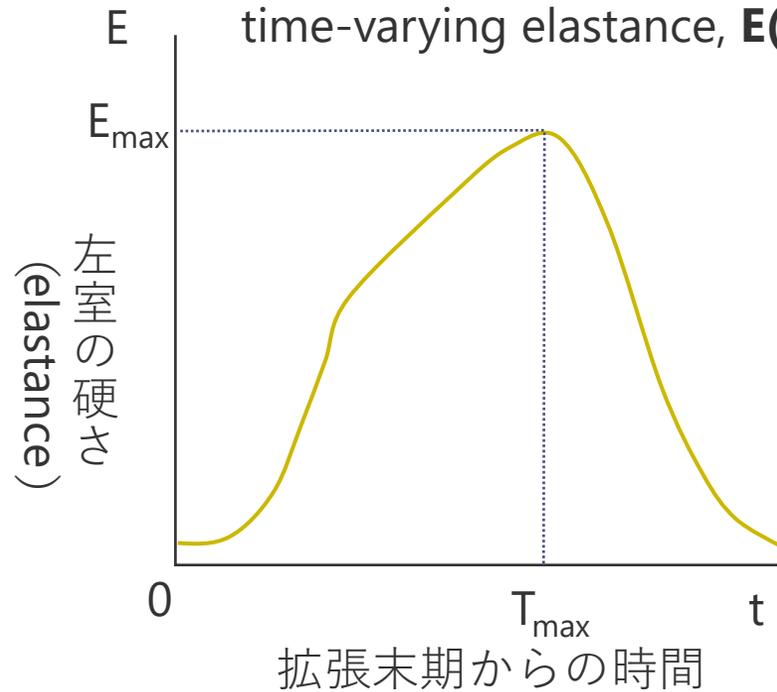
弁



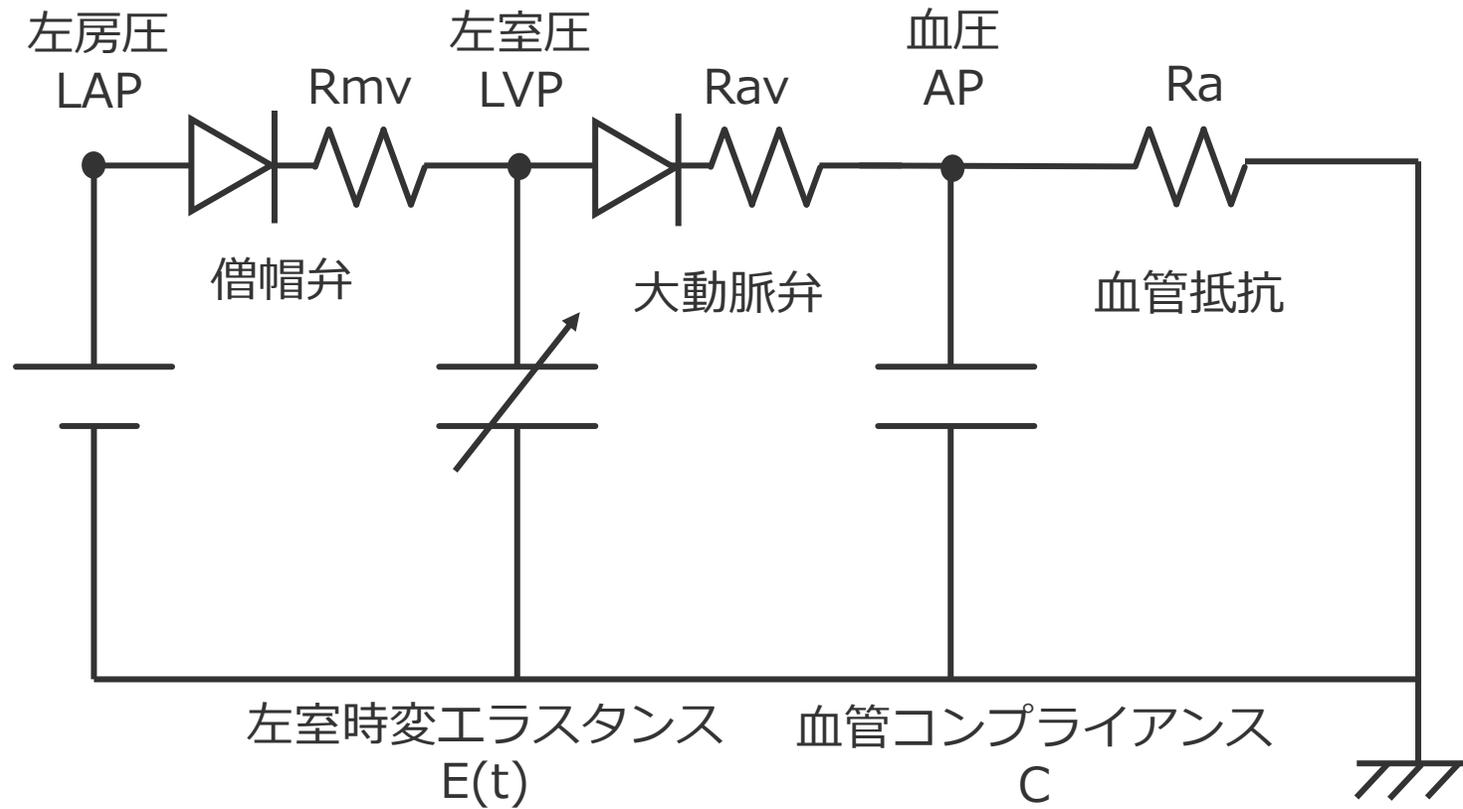
血管



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

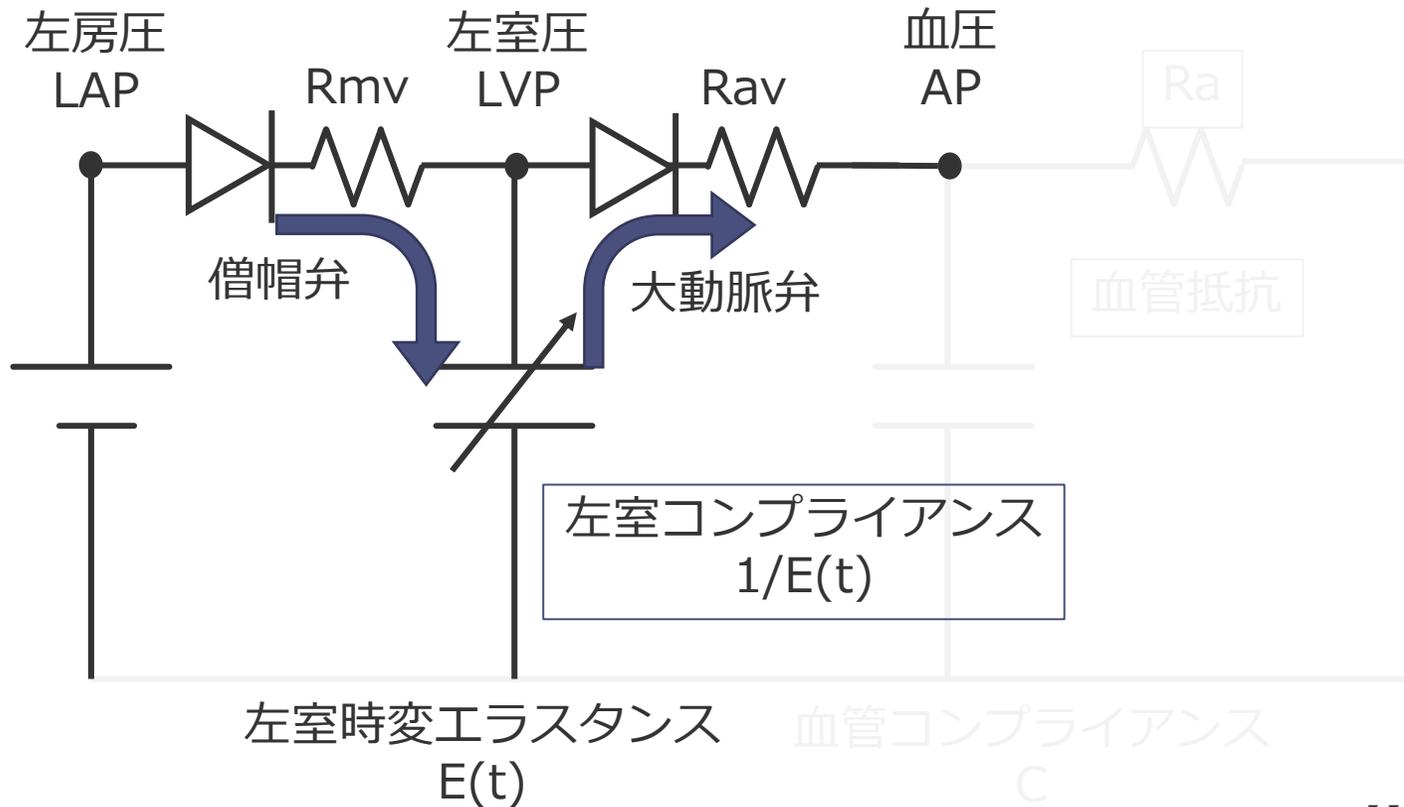


循環の要素を組み立てる



エラストランスとコンプライアンスの関係
 $C=1/E$

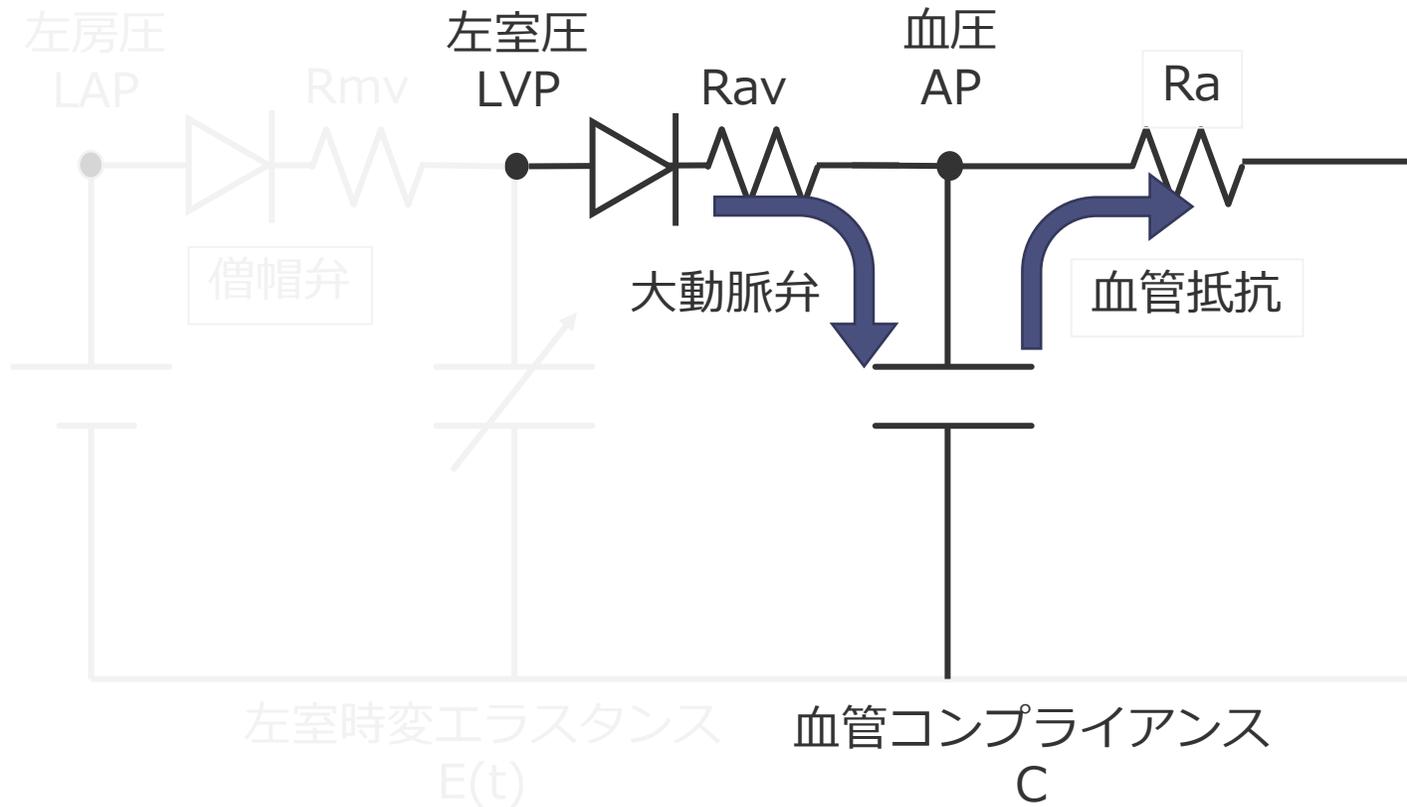
電荷（血液量）の出入りについて式を立てる



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

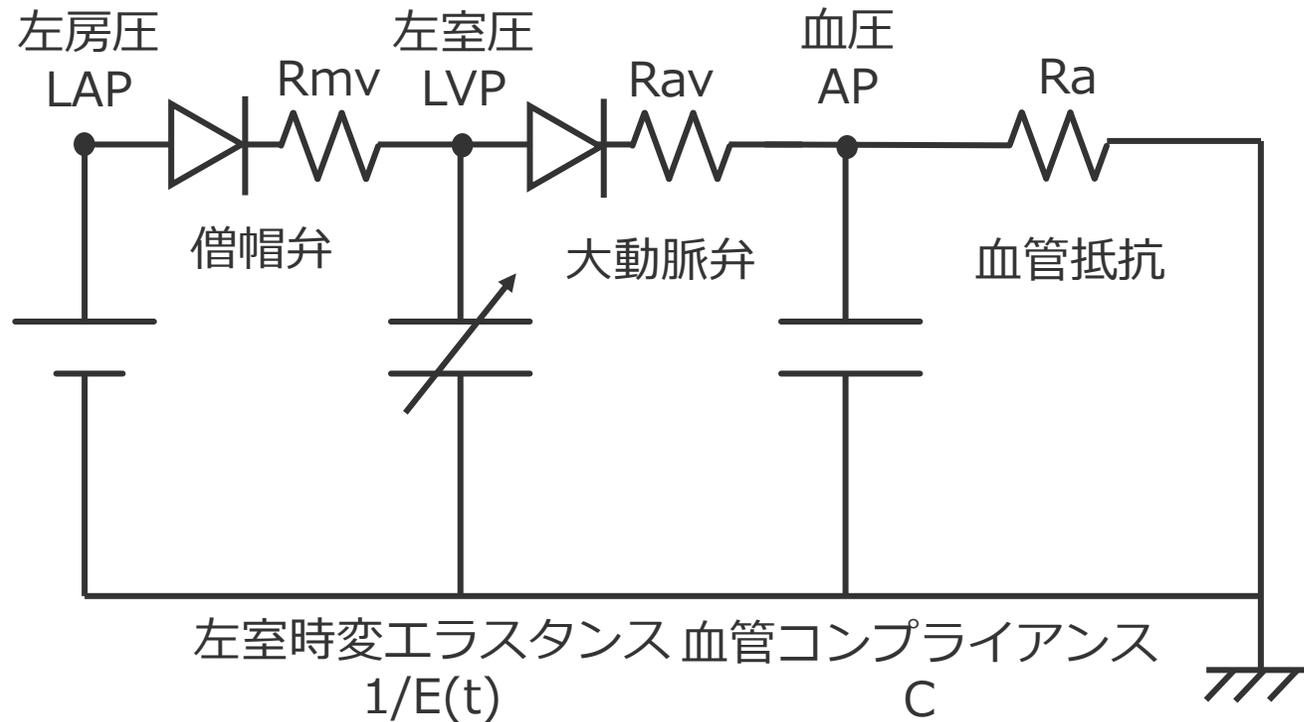
左室の中の電荷の量 = 左室容積

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。](#)

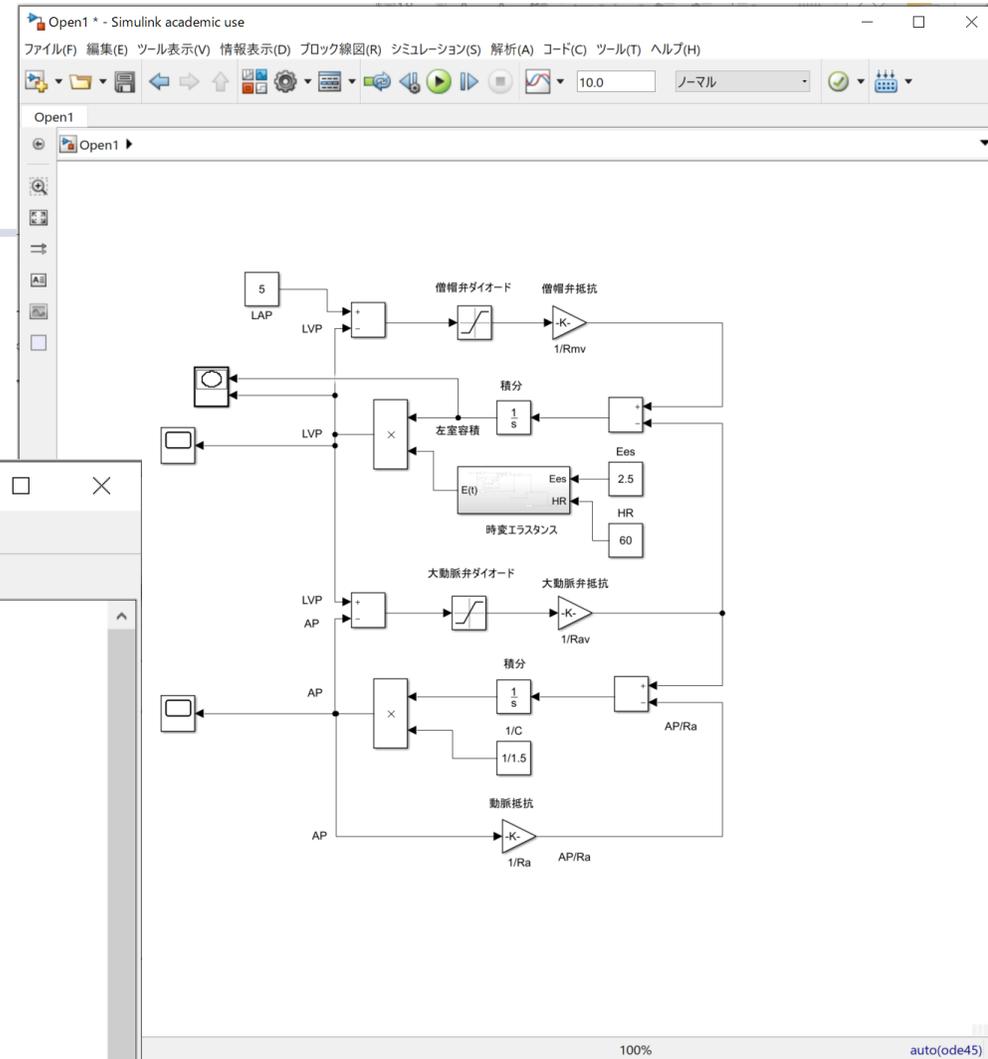
Simulink ライブラリ ブラウザー

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

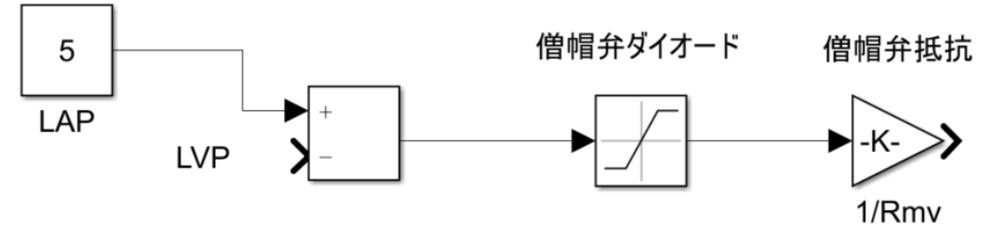
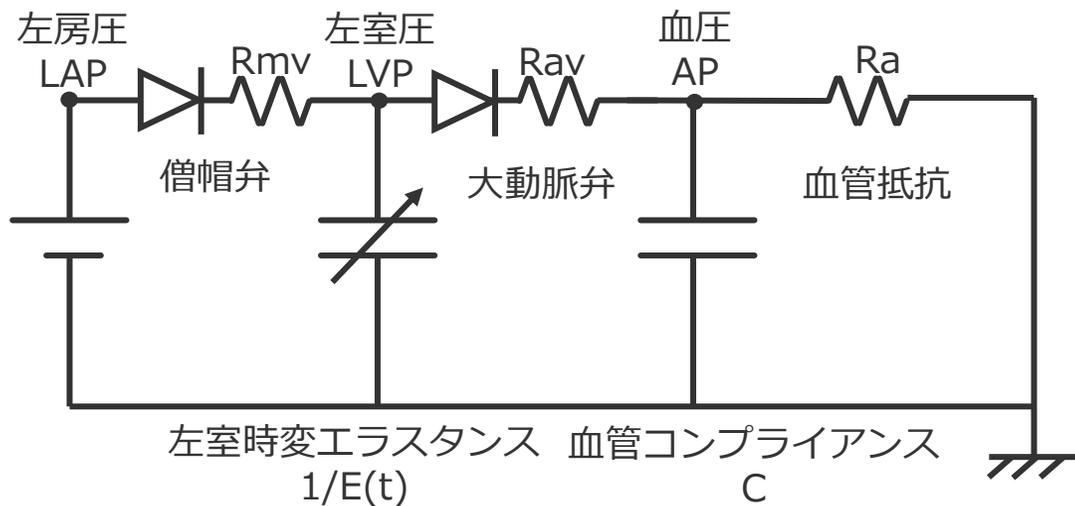
Bus Creator, Bus Selector, Constant, Delay, Discrete-Time Integrator, Ground, Integrator, Mux, Bus Selector, Data Type Conversion, Demux, Gain, In1, Logical Operator, Out1



Simulinkへの落とし込み

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

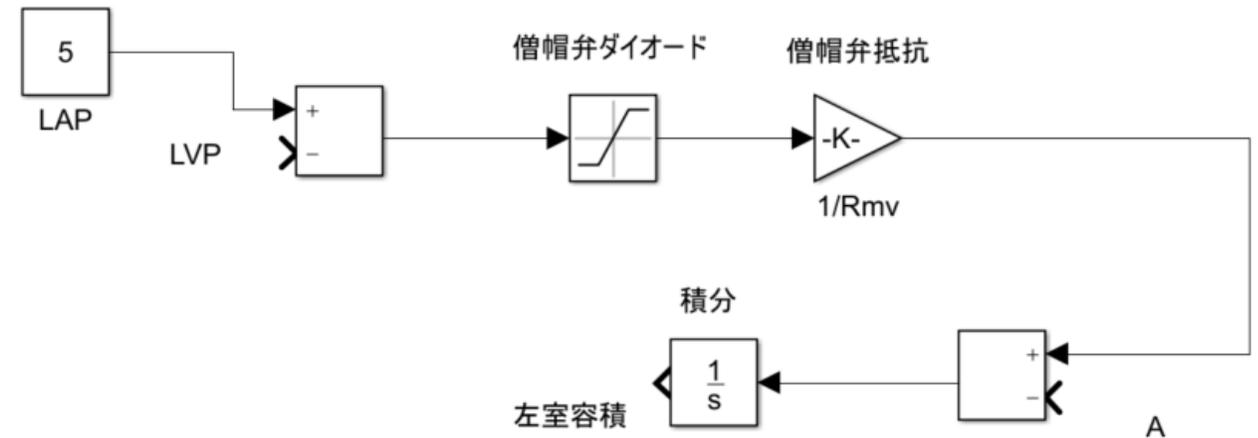
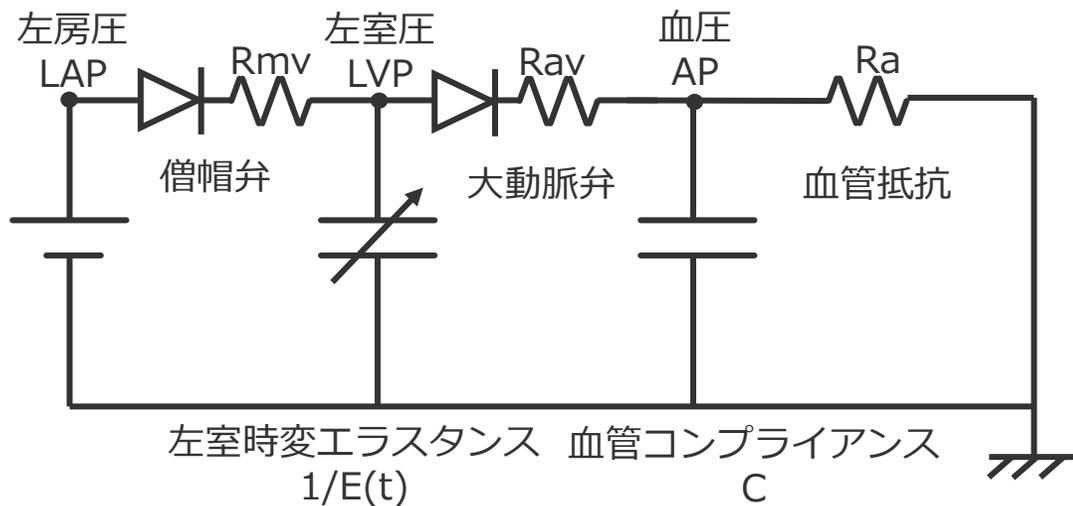
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



Simulinkへの落とし込み

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

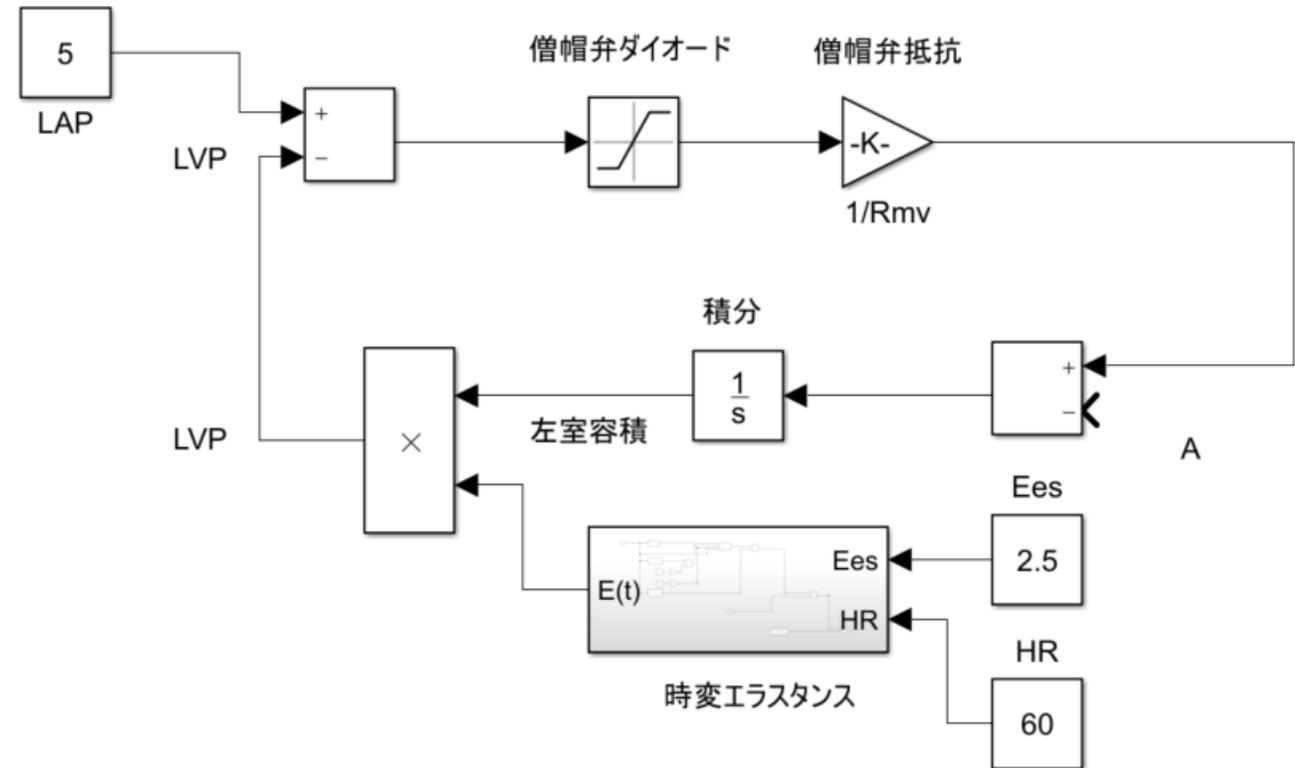
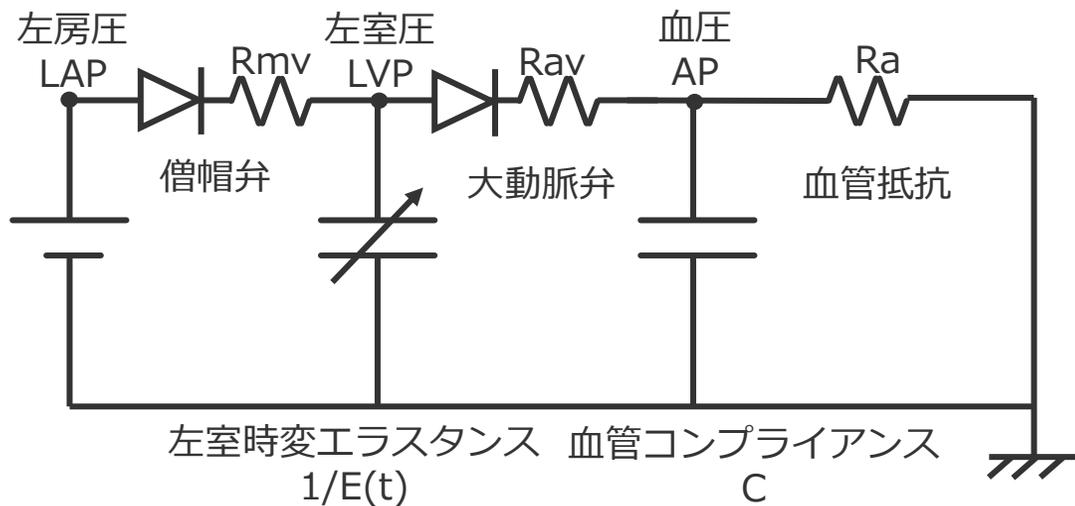
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



Simulinkへの落とし込み

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

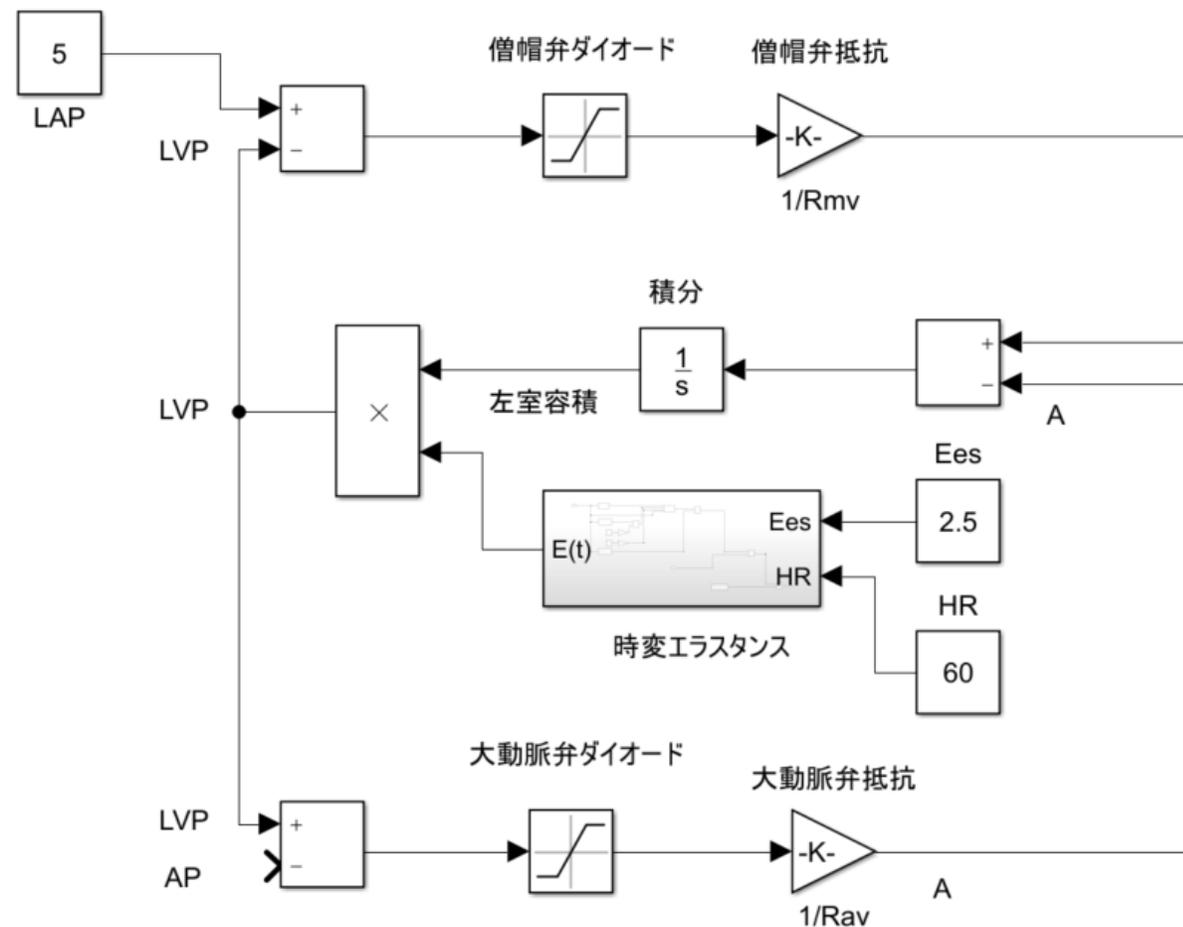
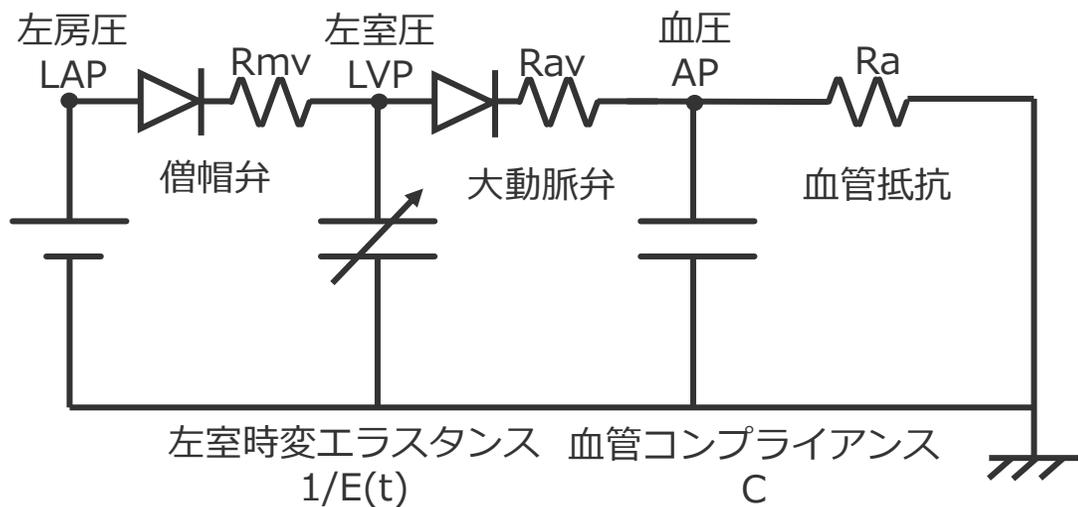
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



Simulinkへの落とし込み

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

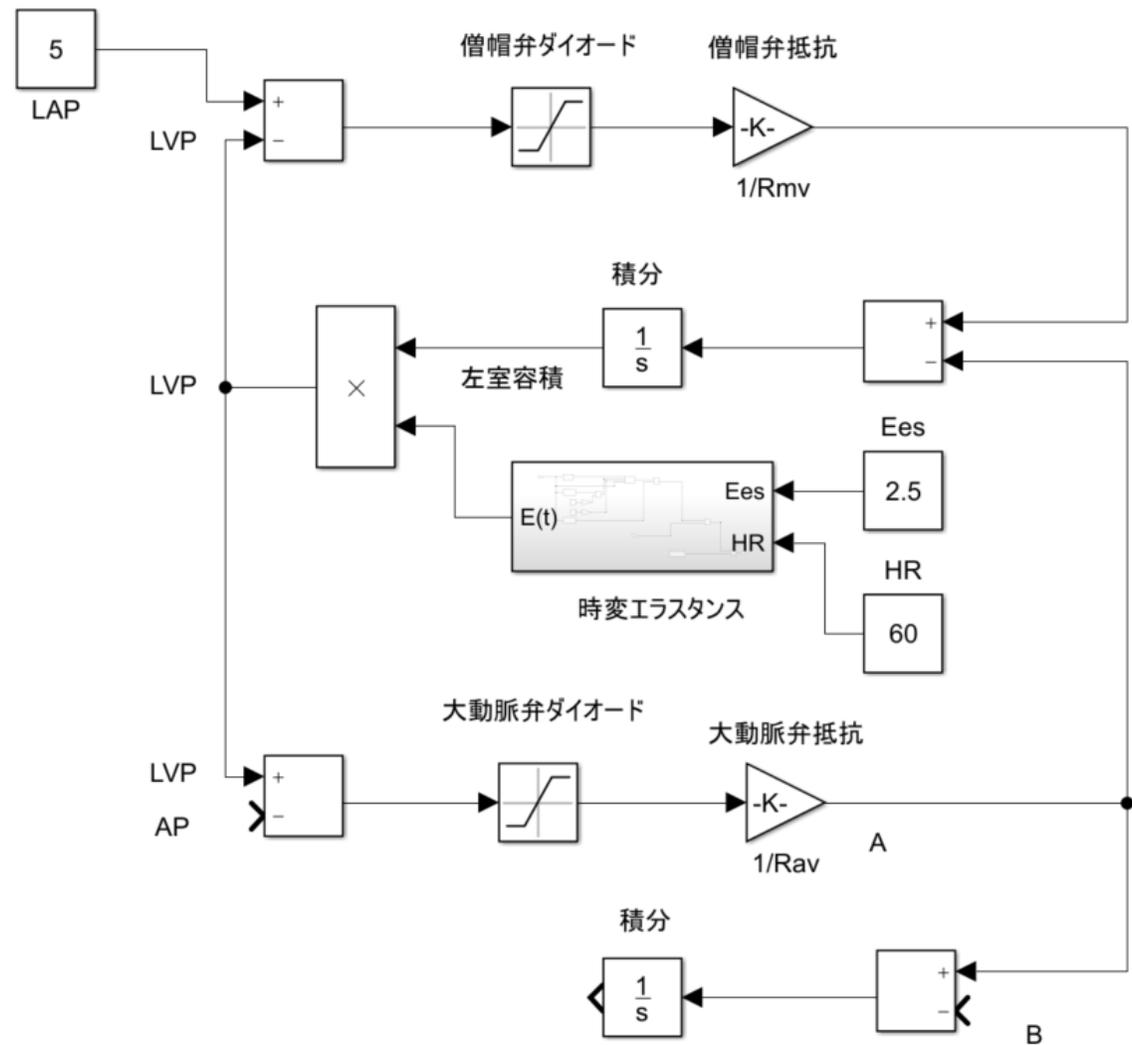
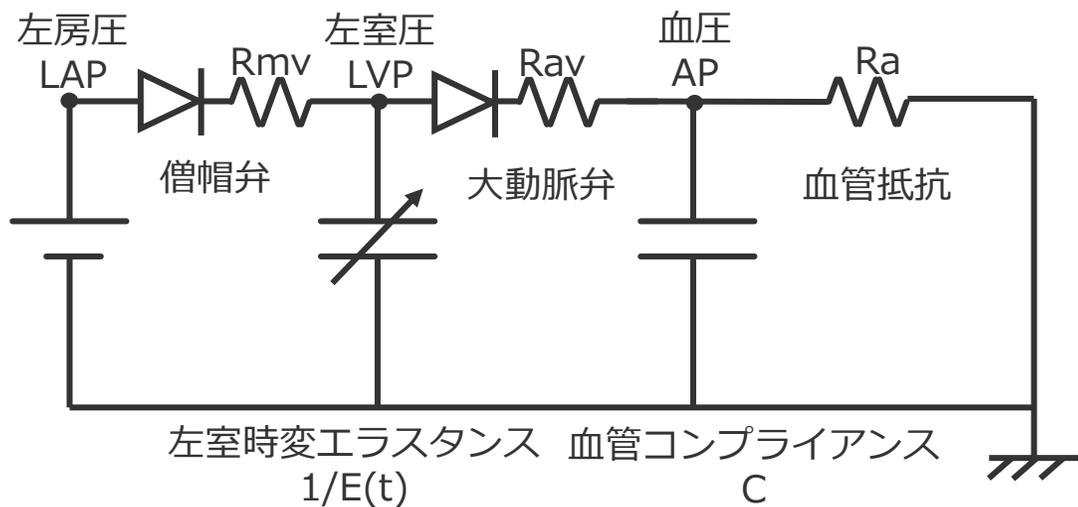
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



Simulinkへの落とし込み

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

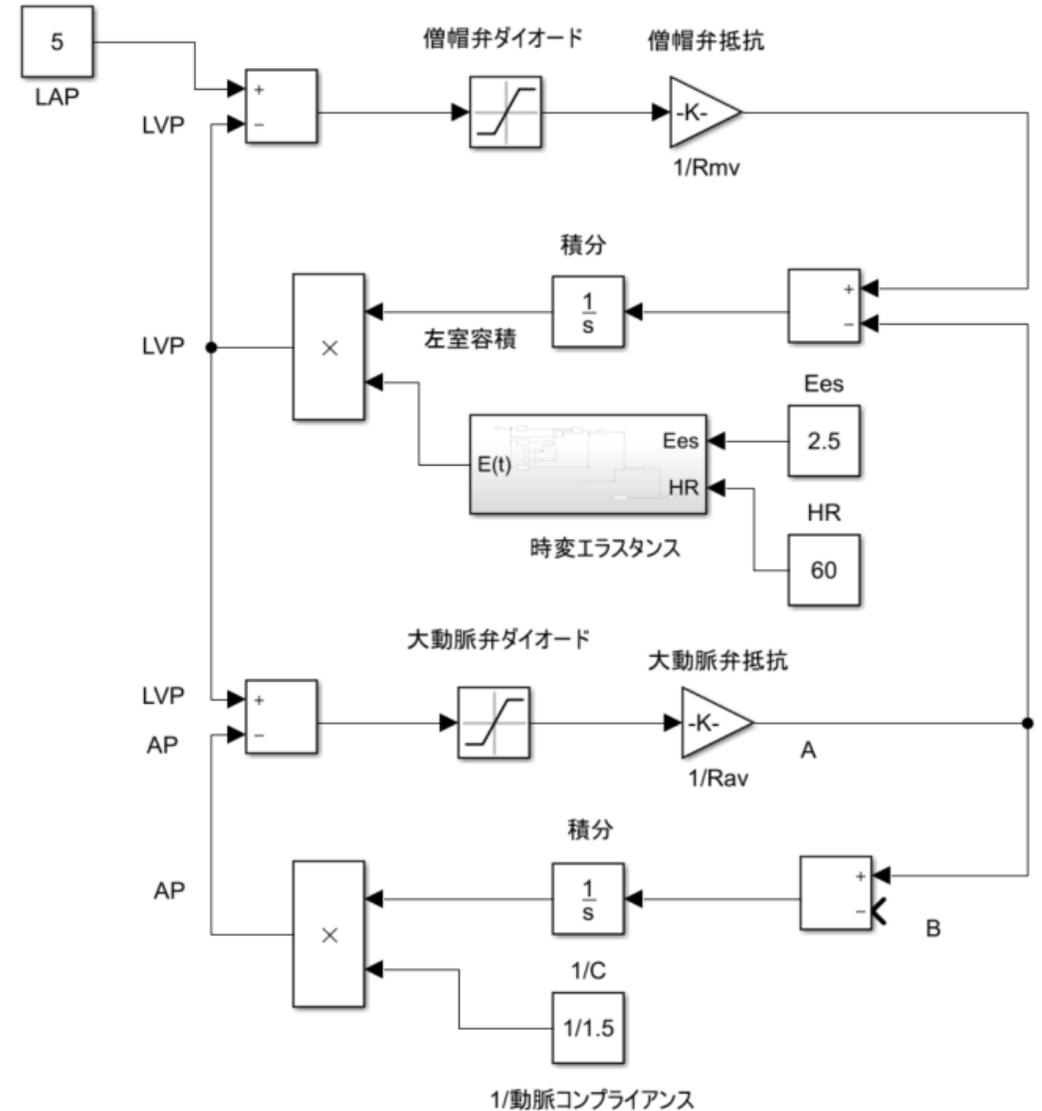
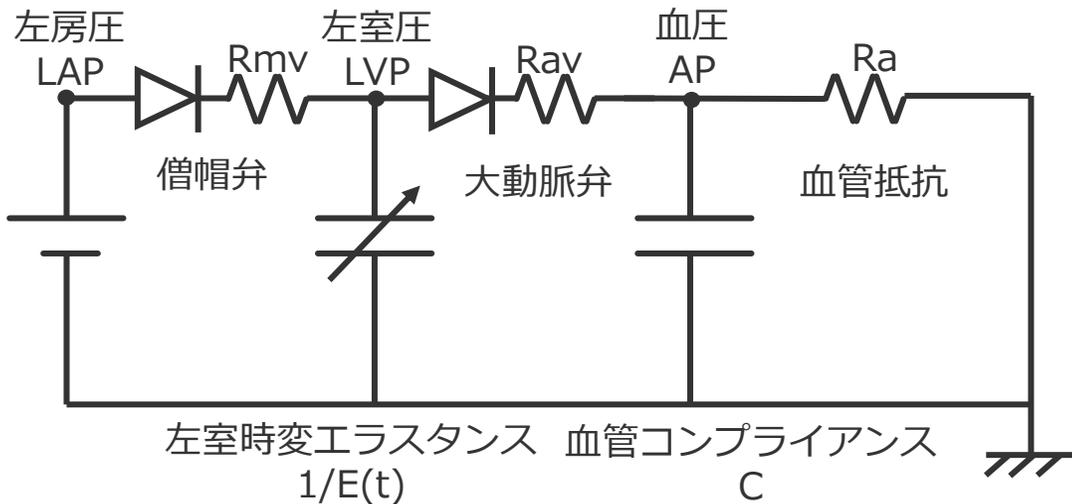
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



Simulinkへの落とし込み

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

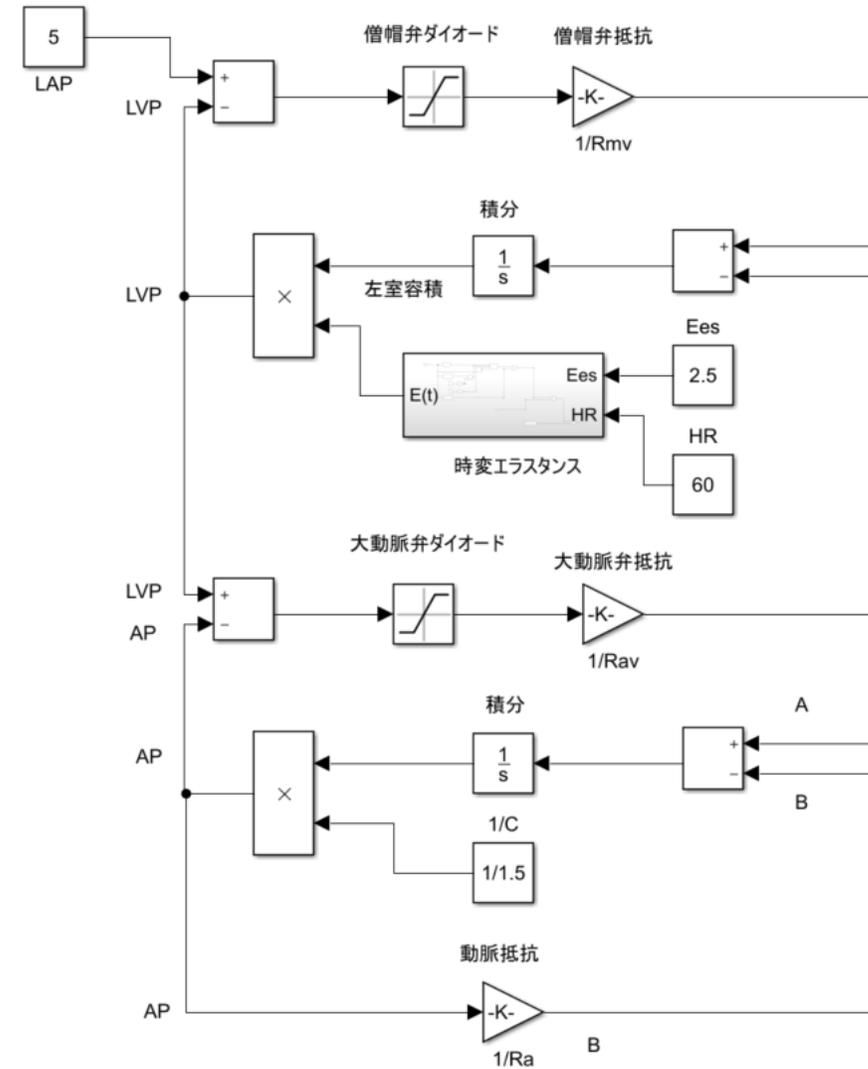
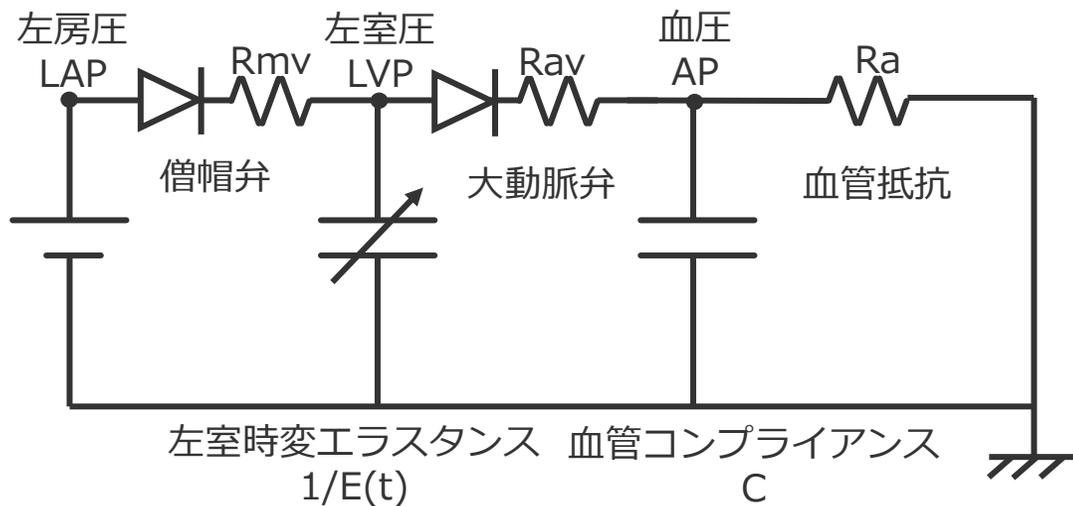
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



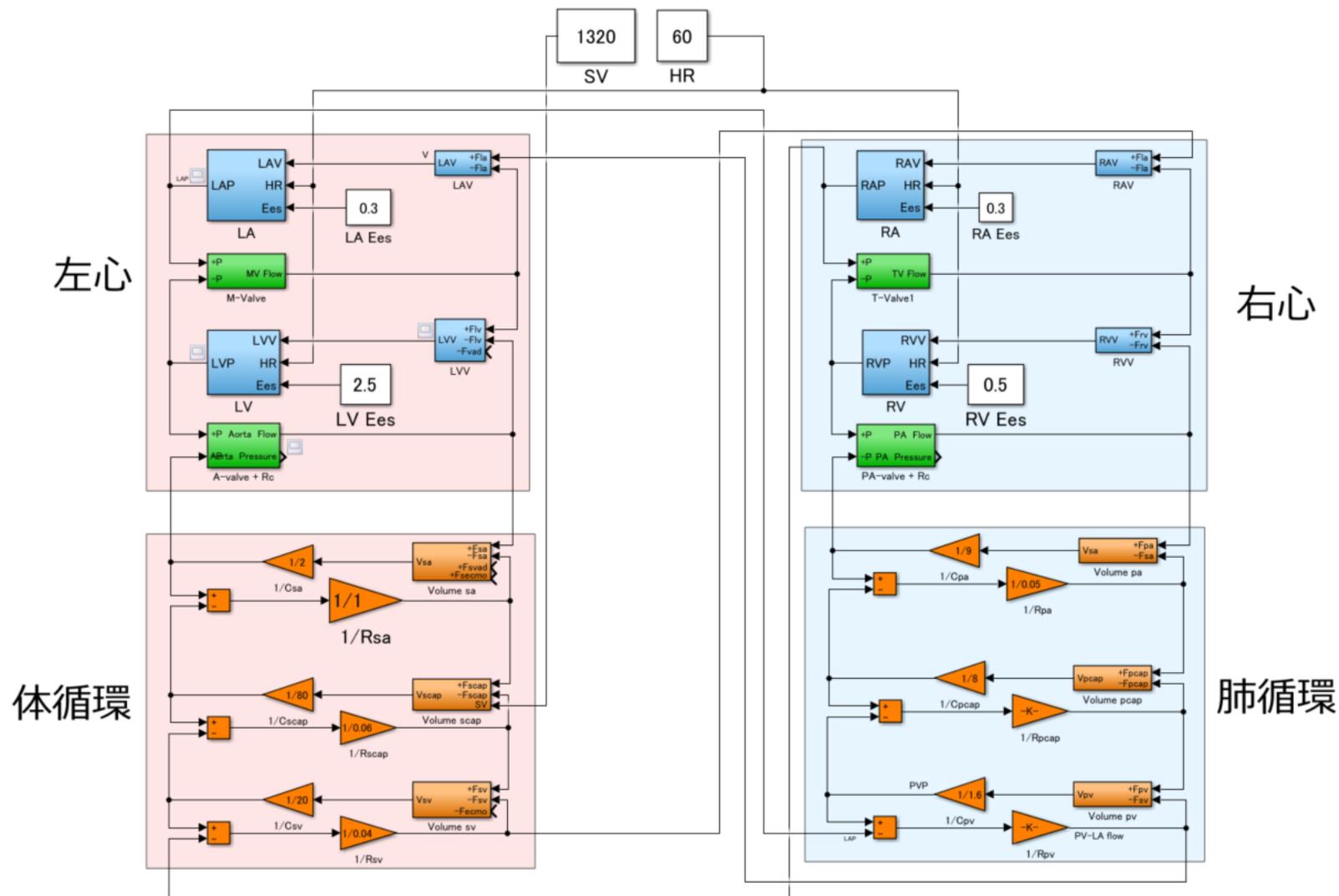
Simulinkへの落とし込み

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

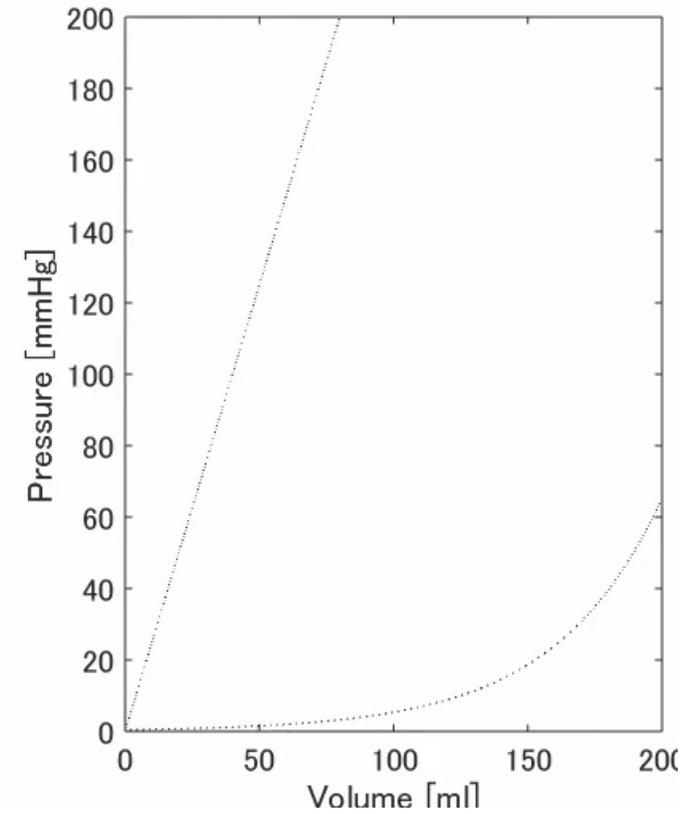
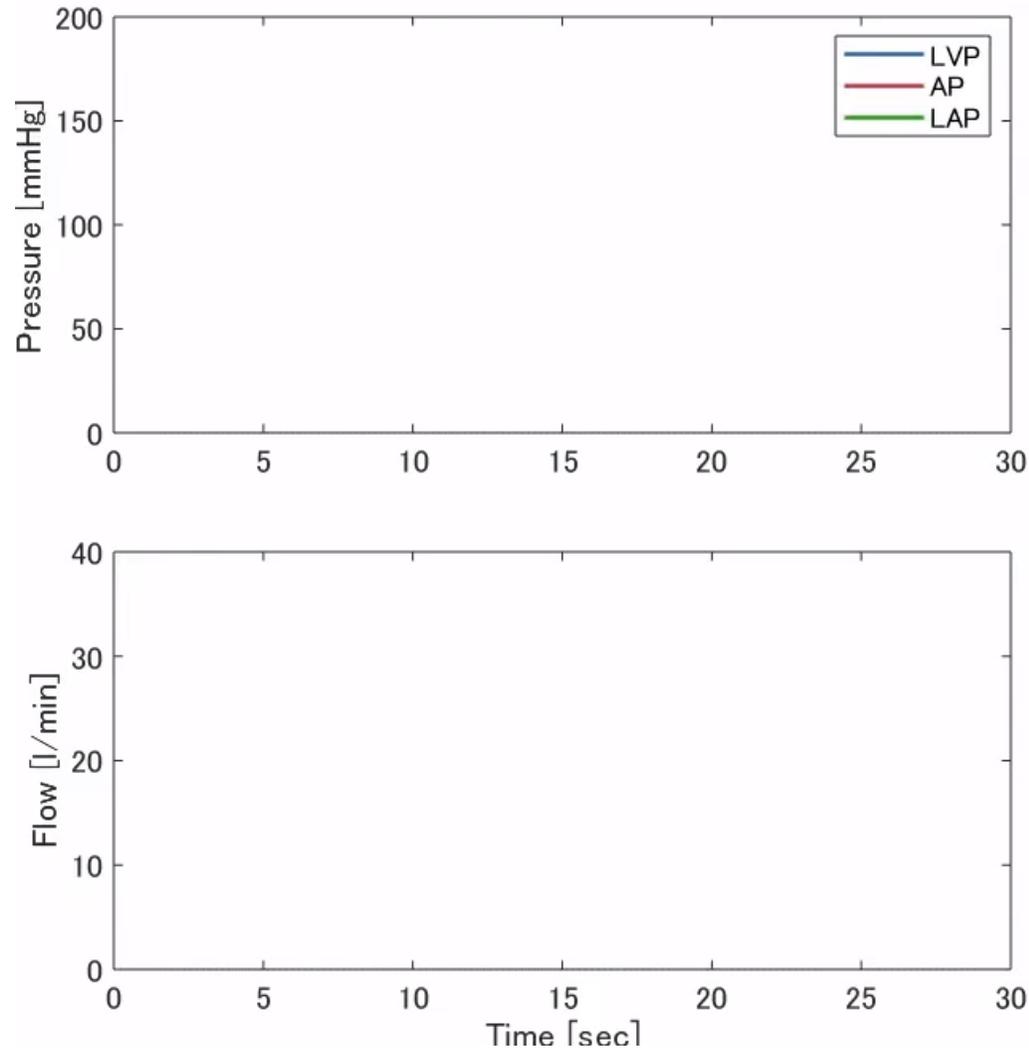
$$AP \times C = \int \left(\frac{LVP - AP}{R_{av}} - \frac{AP}{R_a} \right) dt$$



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。