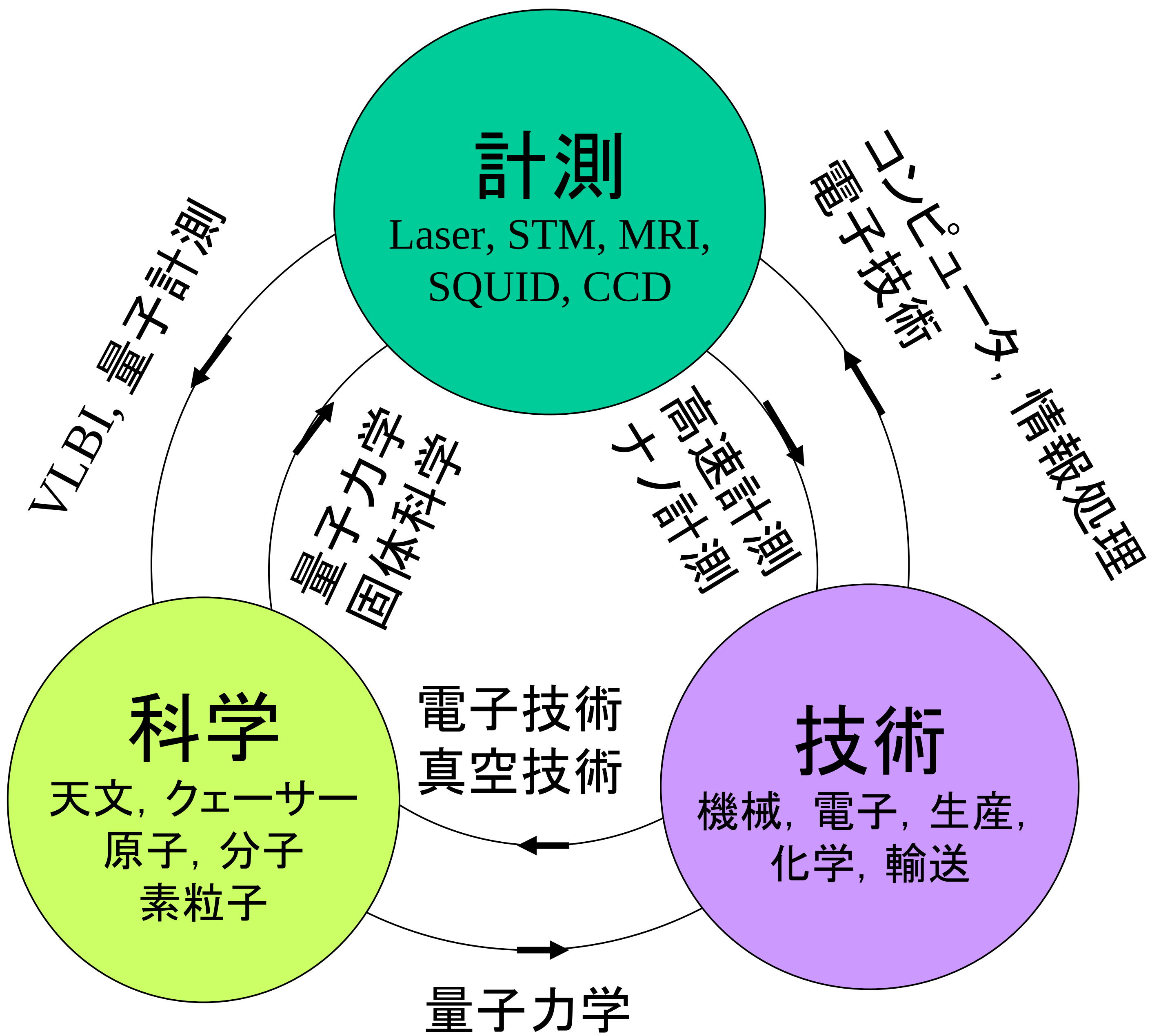

計測
Laser, STM, MRI,
SQUID, CCD
科学
天文，クェーサー
原子，分子
素粒子
技術
機械，電子，生産，
化学，輸送
VLBI, 量子計測
コンピュータ，情報処理
電子技術
量子力学
固体科学
高速計測
ナノ計測
電子技術
真空技術
量子力学

計測の定義

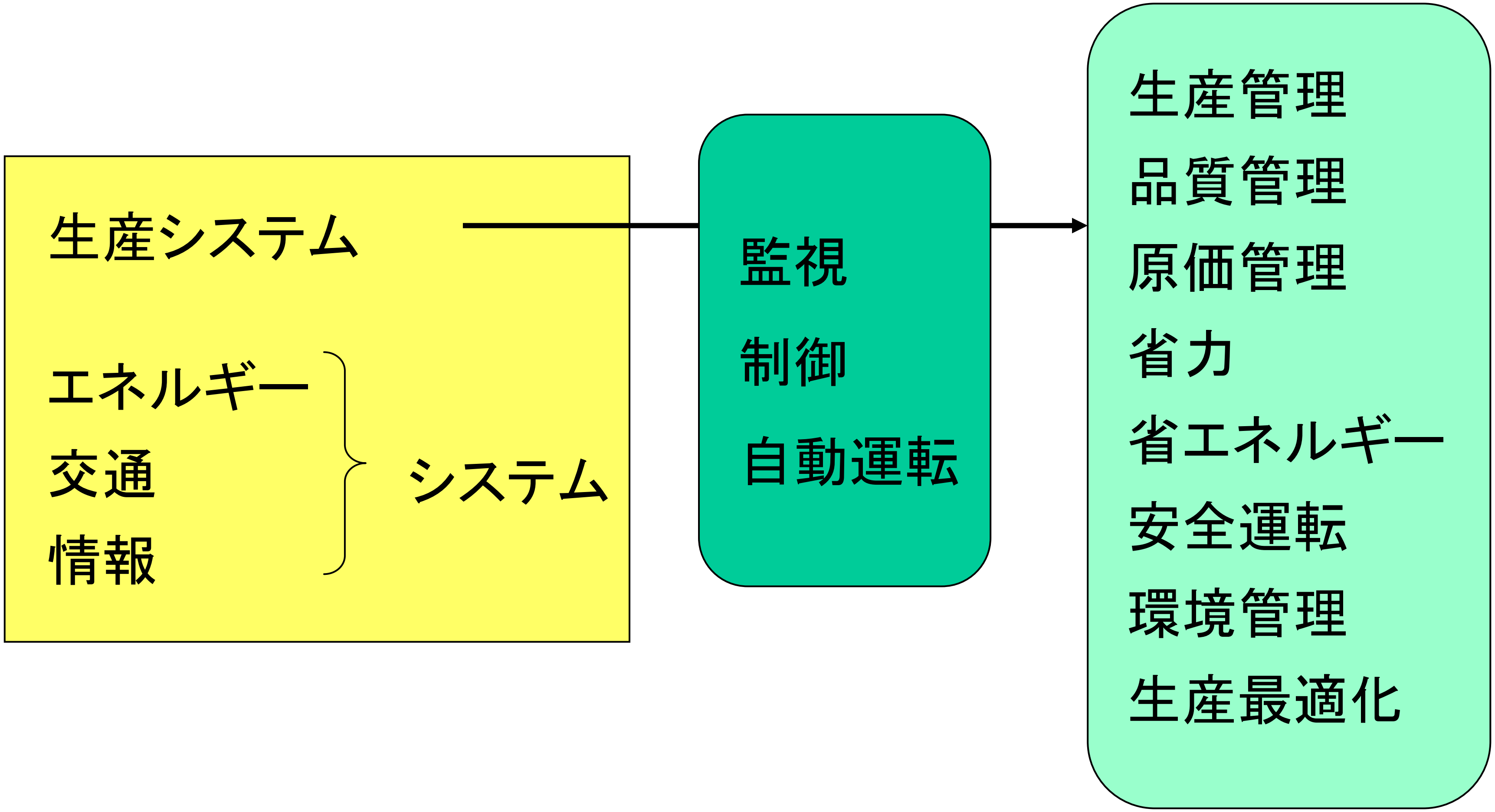
「何らかの目的をもって，事物を量的にとらえるための方法，手段を考究し，実施し，その結果を用いること」

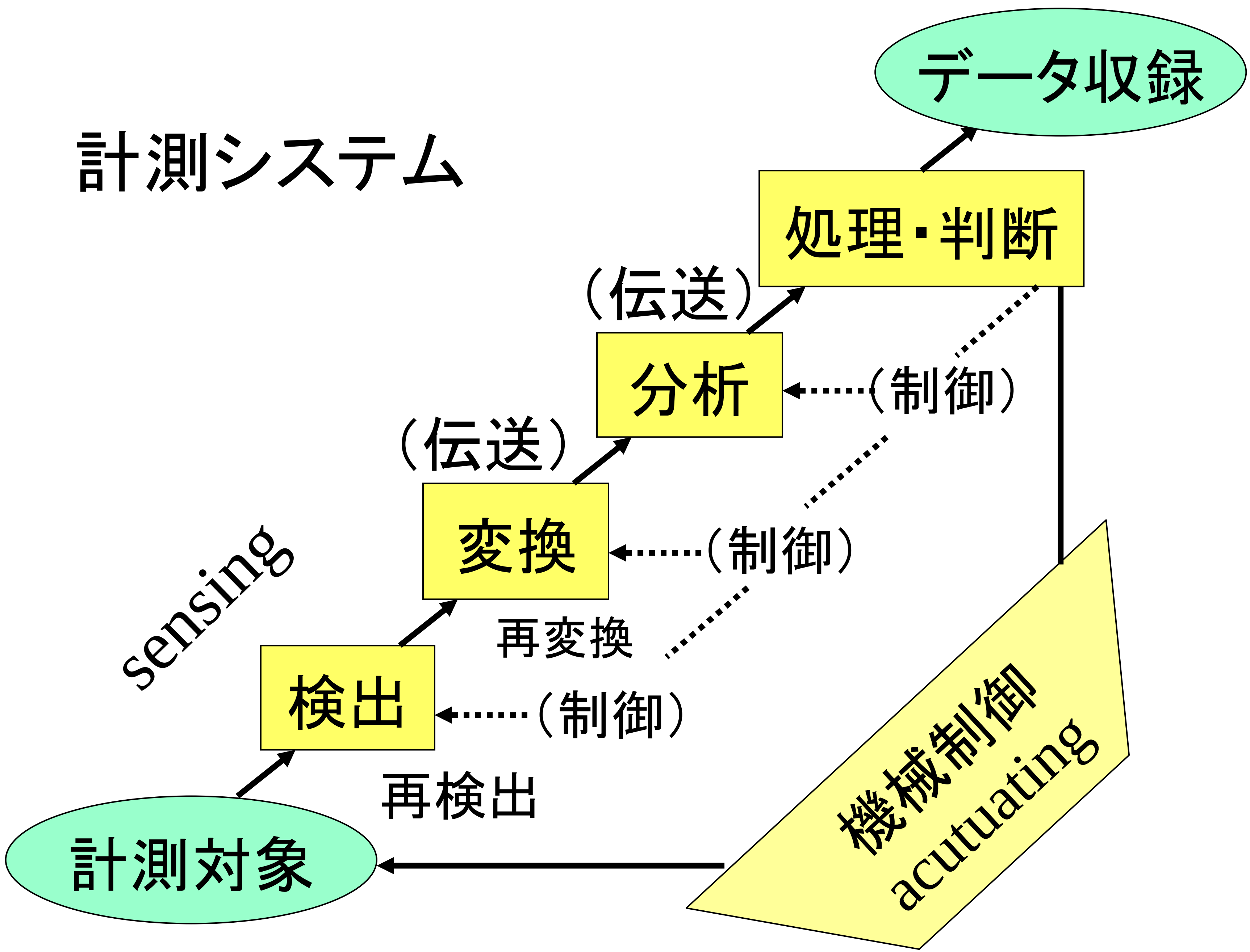
たしかに測れたか

どのようにして測る

測って何がわかり
何に役立ち

計測の目的


生産システム
エネルギー
交通
情報
システム
監視
制御
自動運転
生産管理
品質管理
原価管理
省力
省エネルギー
安全運転
環境管理
生産最適化


計測システム
データ収録
処理・判断
(伝送)
分析
(制御)
(伝送)
変換
(制御)
再変換
sensing
検出
(制御)
再検出
計測対象
機械制御
acutuating

検出（detection）

- （計測工学中）最も困難な課題

- 物理学，化学，物性学，電子工学
  電磁気学，材料学，生物学，
  機械基礎学

変換（signal conversion）

［アナログ変換］

変位，
圧力，力 ⇔ 電流，電圧，
インピーダンス

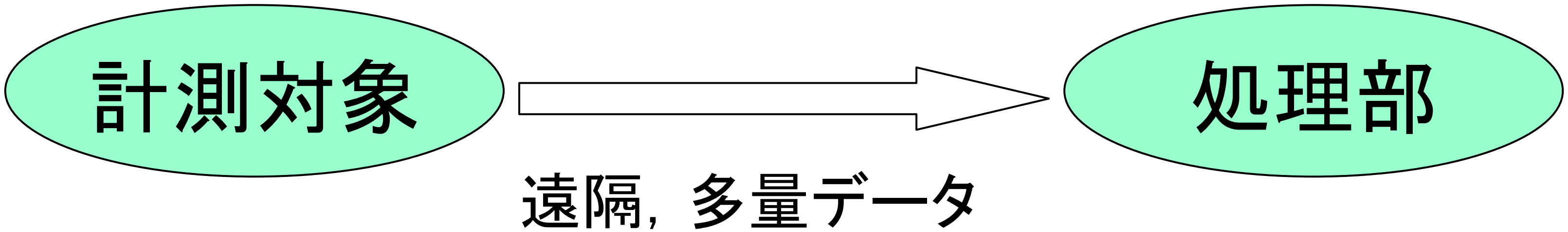
基礎学問：力学，機械工学，電磁気学，
電子回路学

［ディジタル変換］

サンプリング，量子化

基礎学問：パルス工学，情報処理工学

伝送（transmission）



信号伝送方式

直送（有線）

搬送（電波）

変調：連続波，アナログパルス，パルス符号
ディジタル，振幅，周波数

基礎：電子回路学，通信工学

空気圧，油圧　←　機械工学

分析（analysis）

数学，物理学，社会構造学，産業社会学
経営管理学，システム工学

処理・判断（treatment, judgment）

計算，演算

基礎数学，電子回路学，パルス工学，
論理回路学，論理数学，知識工学
人工知能

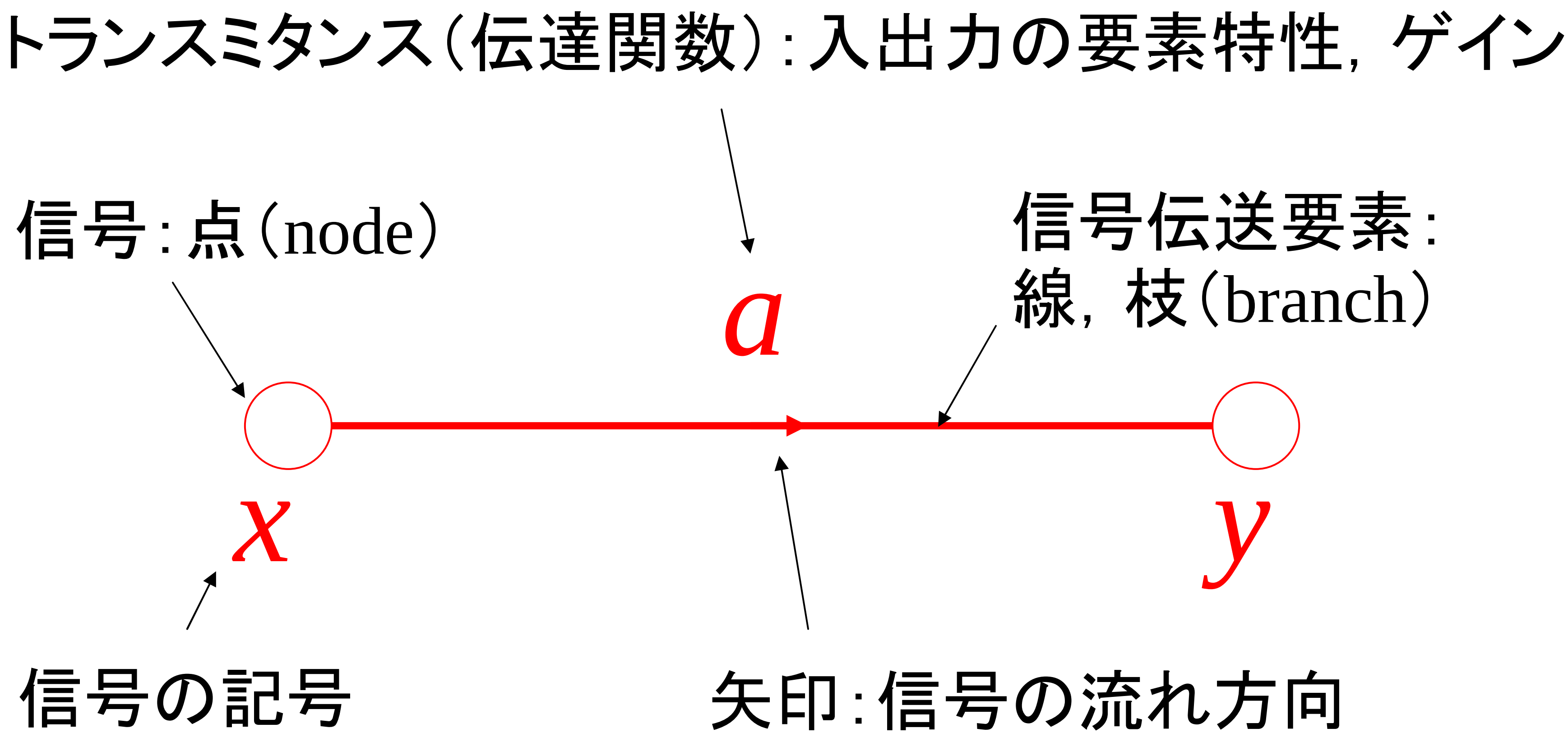
制御（control）

学問の更新が早い

プロセス制御理論，最適制御理論
適応制御理論，多変数制御理論
計算機制御理論

制御系解析，シミュレーション

信号線図（signal flow graph）



$$y=ax$$

入出力関係は代数方程式で表される！

計測システムの過程（検出，変換，伝送）

＝　計測対象の物理量のエネルギーの形態を変えること

＝　何らかの物理現象への入出力を利用

＝　物理現象は微分，積分方程式で表示

複雑

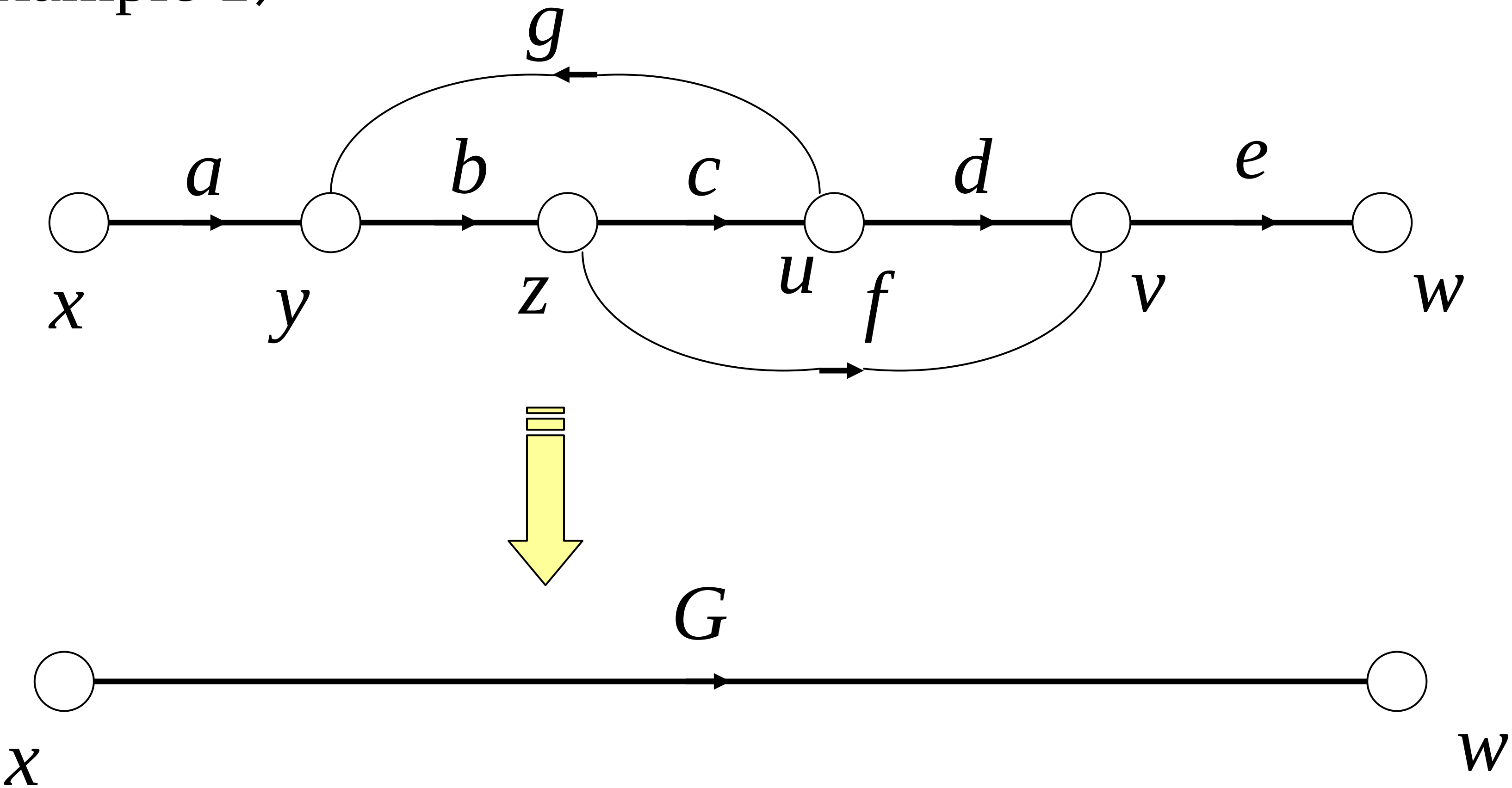
ラプラス変換

代数方程式 ← 簡単な加減乗除

（注）制御工学と同様

信号線図を描く
　⇒　途中の信号を消去
　　⇒　入出力信号の間のトランスミタンス・G
（グラフゲイン）

（example 1）



入出力間のトランスミタンスを求める方法

（1）途中の信号を1つ1つ消去

（2）ルールにしたがって求める

（ｉ）入出力間は幾つかのパス（path）からなる

各パス毎にゲインP_iを求める．→　積

$$P_i = a \cdot b \cdots d$$

（ii）パスにゲインL_i のループがある場合には

各パスのゲインに　$1/(1-L_i)$　を掛ける．

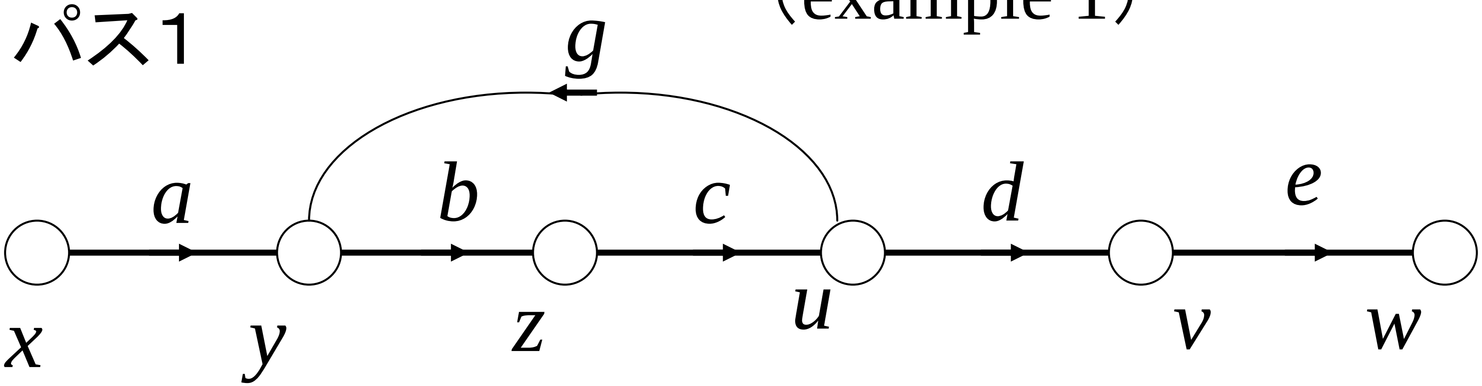
$$G_i = P_i/(1-L_i)$$

（iii）全てのパスのゲインの和→全体トランスミタンス

$$G = \sum G_i$$

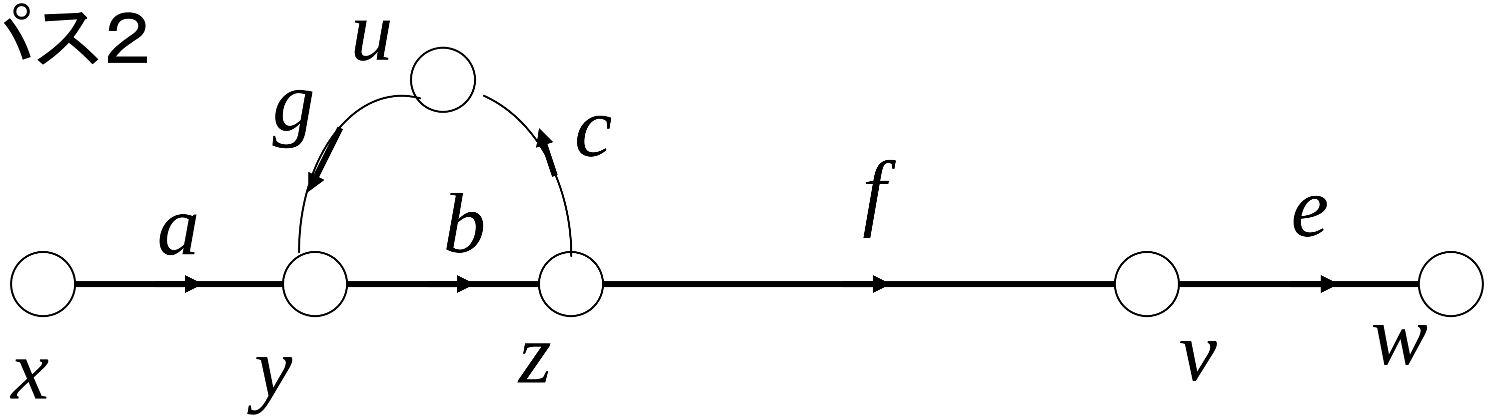
（example 1）

パス1



$$G_1 = \frac{abcde}{1 - bcg}$$

パス2



$$G_2 = \frac{abef}{1 - bcg}$$

$$G = G_1 + G_2 = \frac{abe(dc + f)}{1 - bcg}$$

（3）各信号間の代数関係式を用いる

（example 1 の場合）

各信号間で次式を得る

$$y = ax + gu$$

$$z = by$$

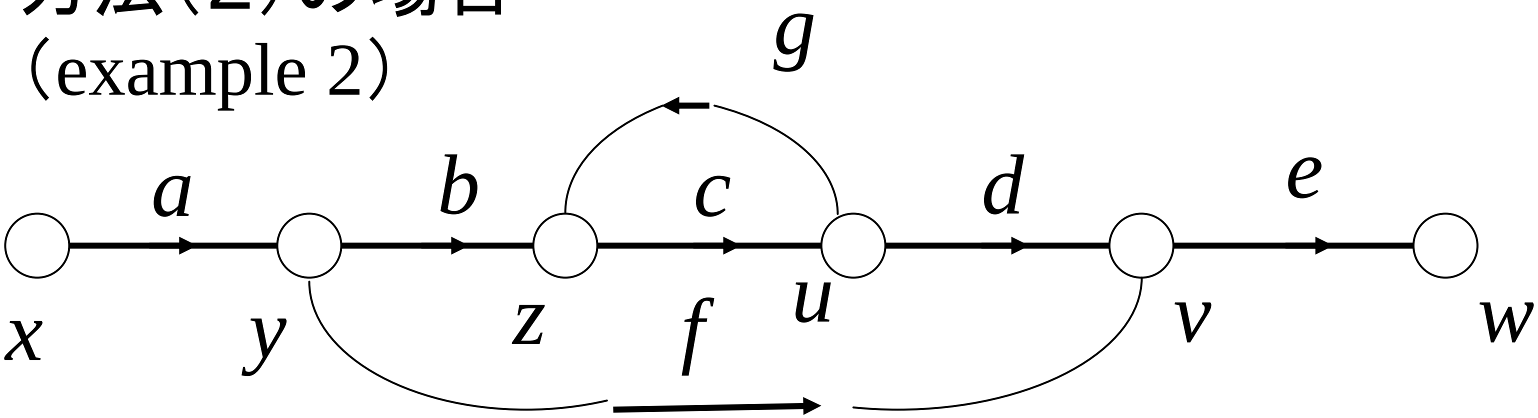
$$v = du + fz$$

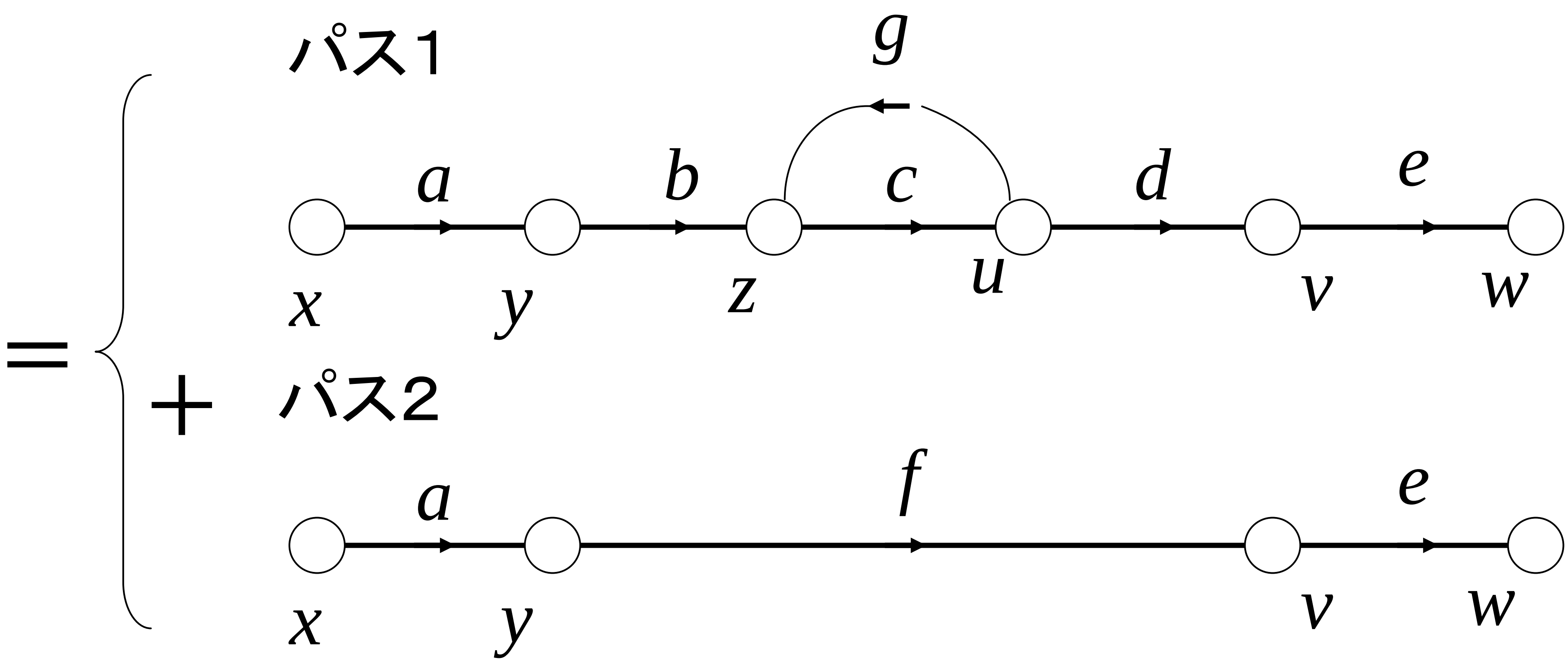
$$w = ev$$

これらを解いて

$$G = \frac{w}{x} = \frac{abe(dc + f)}{1 - bcg}$$

方法（２）の場合
（example 2）





パス1のゲイン： $$G_1 = abcde\frac{1}{1-cg}$$

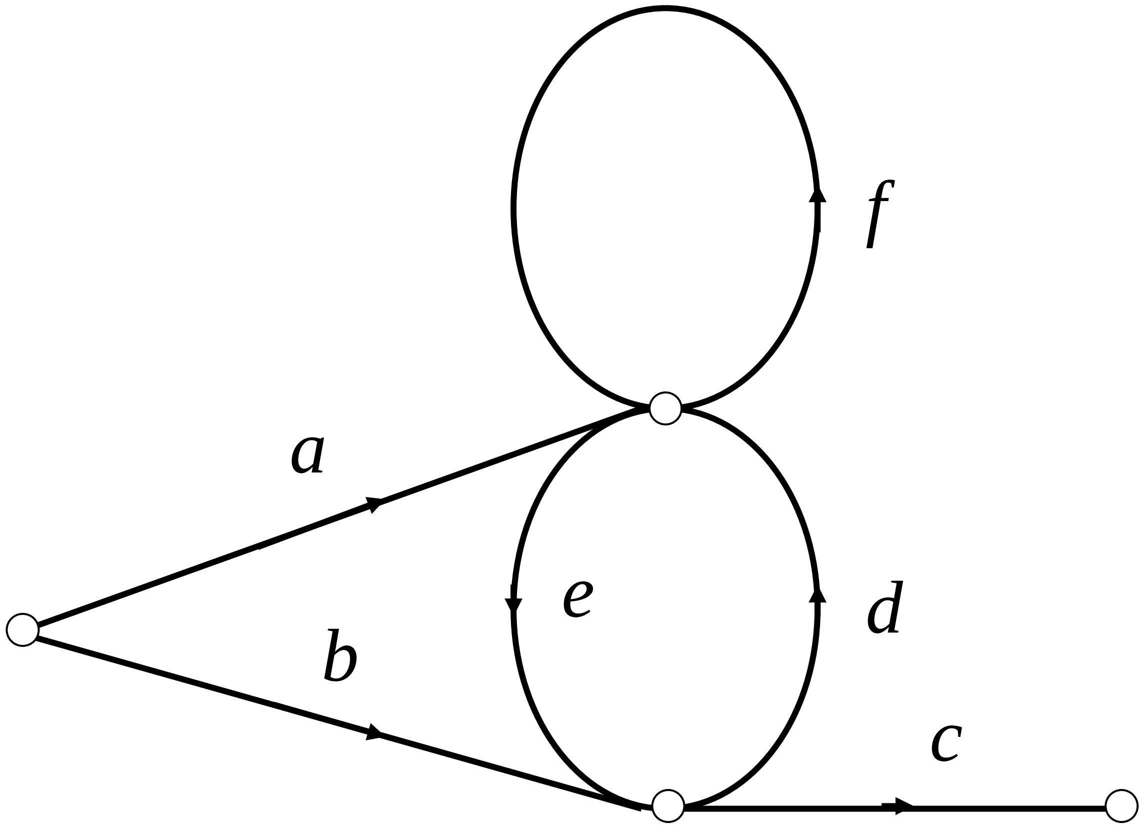
パス2のゲイン： $$G_2 = afe$$

全体のトランスミタンス： $$G = G_1 + G_2$$

$$= ae\left(\frac{bcd}{1-cg} + f\right)$$

$$= \frac{ae\{bcd + f(1-cg)\}}{1-cg}$$

example 3



公式(1．4)

$$G=\sum G_k=\sum P_k/(1-L_k)$$

$$=\sum\frac{P_k}{(1-L_k)}\frac{(1-L_1)\cdots(1-L_n)}{(1-L_1)\cdots(1-L_n)}$$

$$=\frac{\sum P_k\cdot(1-L_1)\cdots(1-L_n)/(1-L_k)}{(1-L_1)\cdots(1-L_n)}=\frac{\sum P_k\cdot\Delta_k}{\Delta}$$

したがって,

$$\Delta=(1-L_1)\cdots(1-L_n)$$

$$=1-(L_1+\cdots+L_n)+(L_1L_2+\cdots L_1L_n+\cdots L_{n-1}L_n)-(L_1L_2L_3+\cdots)+\cdots$$

$$=1-\sum_i L_i+\sum_{i,j}L_iL_j-\sum_{i,j,k}L_iL_jL_k+\cdots$$

$$\Delta_k=(1-L_1)\cdots(1-L_{k-1})(1-L_{k+1})\cdots(1-L_n)$$

$=\Delta$　で　$(1-L_k)\to 1$　すなわち,　$L_k=0$

公式（１．８）

トランスミタンスを次式におく

$$G = \frac{g(a,b,c,\cdots)}{f(a,b,c,\cdots)}$$

各要素は分子，分母ともに１次であり，a に着目すると次式となる.

$$f(a,b,c,\cdots) = a \cdot f_1(b,c,\cdots) + f_2(b,c,\cdots)$$
$$g(a,b,c,\cdots) = a \cdot g_1(b,c,\cdots) + g_2(b,c,\cdots)$$

$$S_a^G = \frac{\partial G}{\partial a}\cdot\frac{a}{G} = \left(\frac{1}{f}\cdot\frac{\partial g}{\partial a} - \frac{g}{f^2}\cdot\frac{\partial f}{\partial a}\right)\cdot\frac{f}{g}\cdot a = \frac{a}{g}\cdot\frac{\partial g}{\partial a} - \frac{a}{f}\cdot\frac{\partial f}{\partial a}$$

$$= \frac{ag_1}{g} - \frac{af_1}{f} = \frac{g - g_2}{g} - \frac{f - f_2}{f} = \frac{f_2}{f} - \frac{g_2}{g}$$

$$= \frac{f(0,b,c,\cdots)}{f(a,b,c,\cdots)} - \frac{g(0,b,c,\cdots)}{g(a,b,c,\cdots)}$$

$$= \frac{\text{分母で}\ a=0}{\text{分母}} - \frac{\text{分子で}\ a=0}{\text{分子}}$$

信号線図を用いての解析

（１）計測に関わる物理現象の数学モデル
　→　信号線図の作成
　　　⇒　計測システムの見通しが明確化

（２）入出力間のトランスミタンスの算出

（３）計測システムの把握
　システム特性
　トランスミタンスに対する各要素の感度
　（注）時系列でみると，出力信号 ≠ 入力信号

（４）計測システムの改善

可動コイル電圧計に関する物理現象

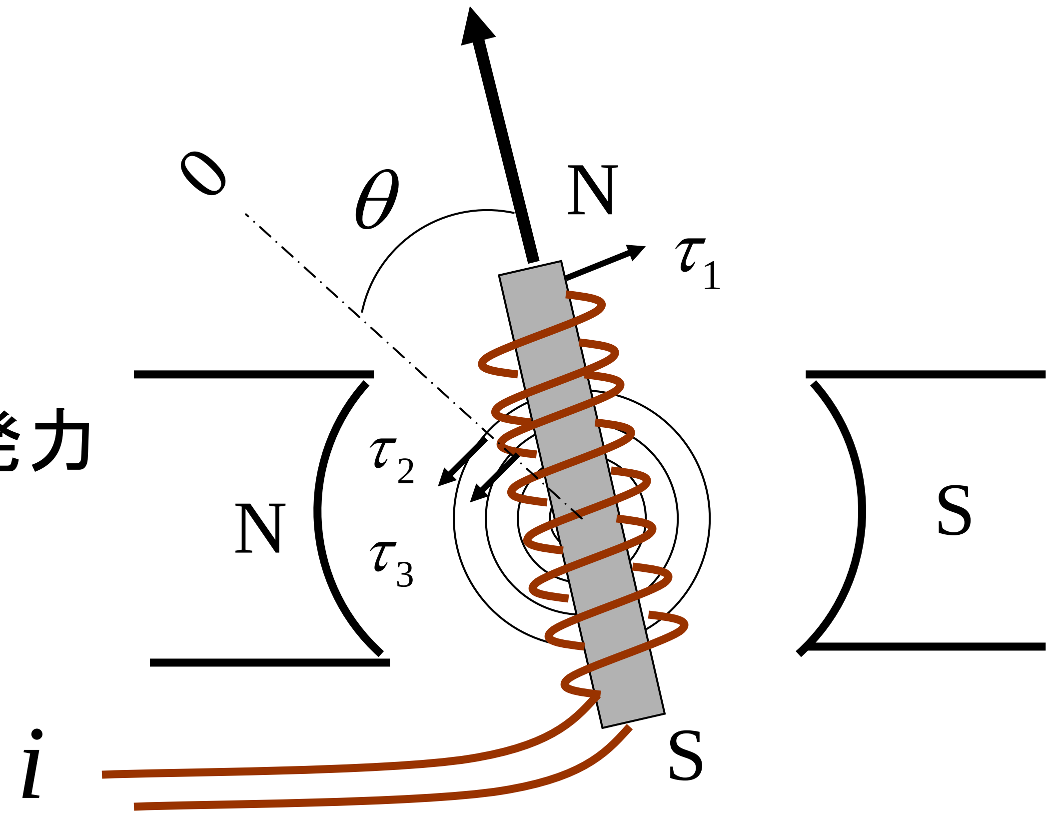
（1）トルクのつりあい

作用トルク

$\tau_1 = K_1 \cdot i$：　磁気反発力

$\tau_2 = K \cdot \theta$：　ばね力

$\tau_3 = D_1 \cdot \dot{\theta}$：　ダンパ



トルクの運動方程式

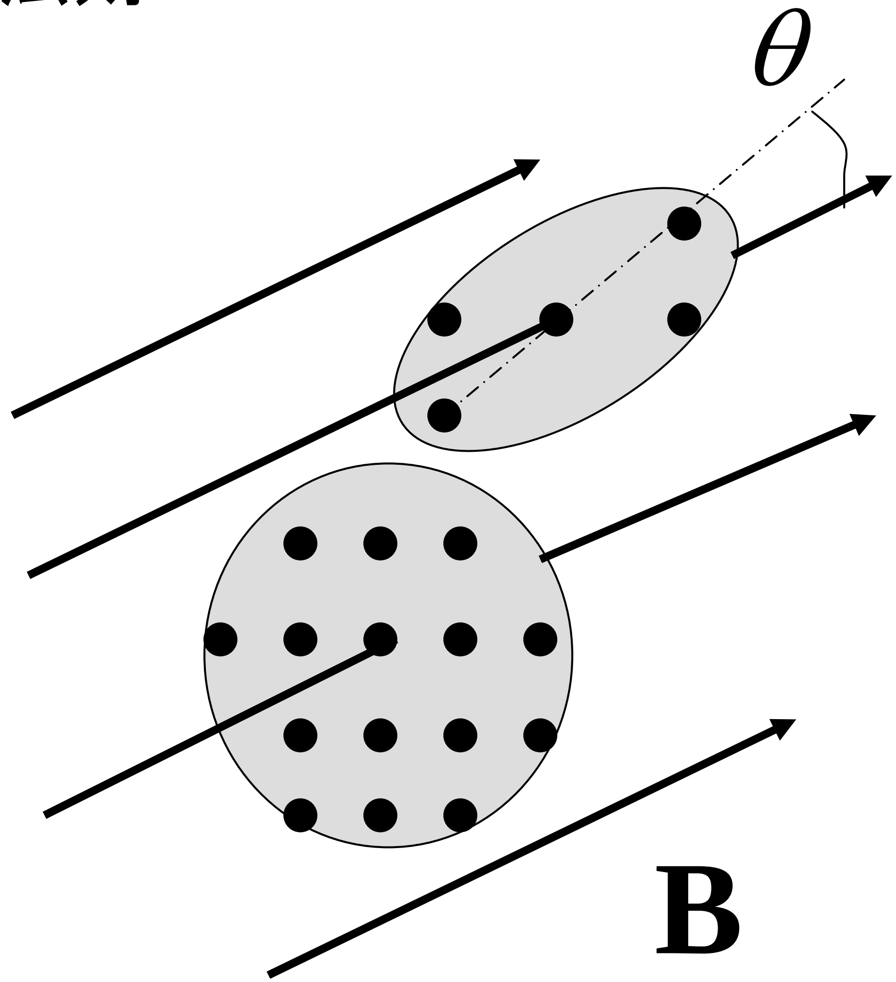
$$J \cdot \ddot{\theta} = \tau = \tau_1 - (\tau_2 + \tau_3) = K_1 \cdot i - (K \cdot \theta + D_1 \cdot \dot{\theta})$$

（２）電磁気学に関する法則

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt}$$

$$\left|\mathbf{B}\right| \propto \theta$$

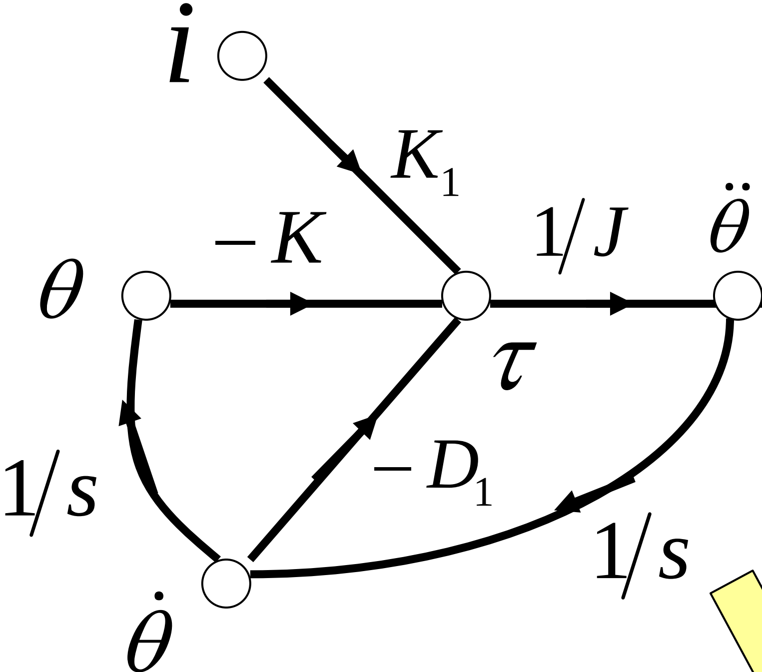
$$\therefore \quad v = v_0 - D_2 \dot{\theta}$$

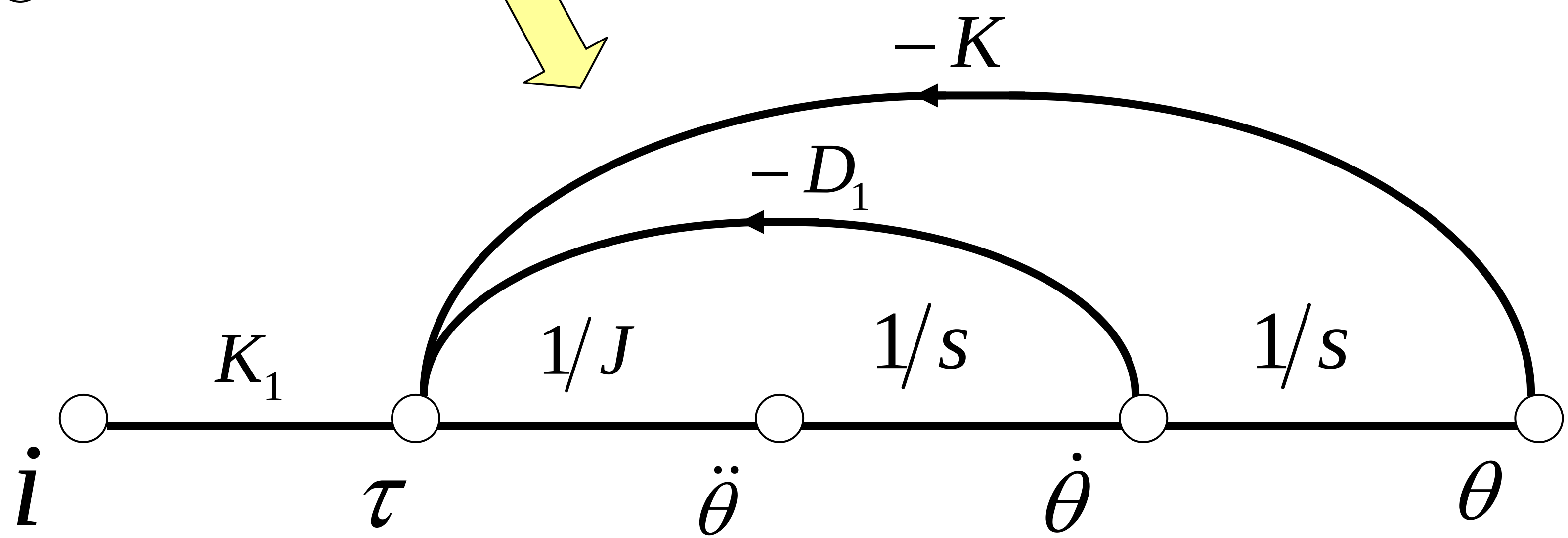


信号線図の作成

（1）トルクに関する運動方程式

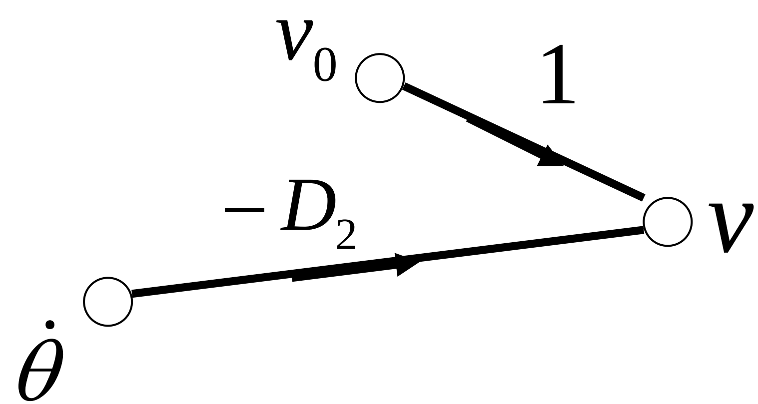
$$J\ddot{\theta} = \tau = K_1 i - \left(K\theta + D_1\dot{\theta}\right)$$





（2）電磁気学の関係

$$v = v_0 - D_2\dot{\theta}$$



（3）可動コイル電圧計の信号線図のまとめ