

2017年12月8日、制振工学会、設立30周年記念講演会、於（地独）東京都立産業技術研究センター



ダンピング技術と ダンパの種類・応用



秋田大学名誉教授
砂子田 勝昭

はじめに

1. 減衰はエネルギー散逸現象であり、熱力学の第2法則にもとづくエントロピー増大の現象である。

2. 減衰(ダンピング)をどう表現するか？

線形モデルに現れる減衰の表現:

減衰は本質的に非線形な現象である。

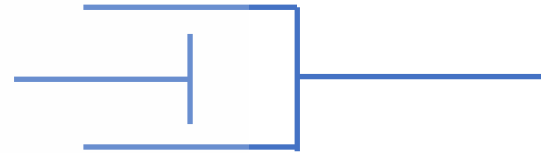
どのように線形化もしくはモデル化するのか(各種モデルの整合性の多くは実験により検証される。

数式での表現は殆ど近似的な表現に過ぎない。 F : 力(減衰力), c : 減衰係数, v : 速度として,

$F=cv$ 線形, (このように記述すれば、線形微分方程式として解きやすいから。)

$F=cv^2$, $F=cv^n$ (n は整数または小数), 分数階微積分表現, 等々はすべて非線形現象である。

3. ダンパにはどのような種類があり、どのように使用されているのか



エネルギーについて

言葉としてのエネルギー

- 1) 活動の源として体内に保持する力. 活気. 精力
- 2) 物理学的な仕事をなしえる諸量(運動エネルギー, 位置のエネルギーなど)の総称. 物体が 力学的仕事をなし得る能力の意味であったが, その後, 熱, 光, 電磁気, 質量までもエネルギーの一形態であることが明らかにされた.

エネルギー保存の法則(conservation of energy)

エネルギーは作られることも無いし, 消滅することも無い. 単に形態が変化するだけである. (エネルギーの総量は一定に保たれる.)

閉じた系(宇宙)で真(?), 開いた系(我々の住んでいる世界)では不成立, それを説明することが科学であり, 工学である. 熱力学の第一法則(first law of thermodynamics)とも言う.

熱力学の第一法則の別表現2: 系とその外界との相互作用において, 系が獲得したエネルギー量は外界が失った量と厳密に等しくなければならない.

熱力学の第一法則の別表現3: 物体は静止しているとして1つの物体系を定まった始めの状態から定まった終わりの状態へいろいろな方法で移すとき, 物体系に与えられた機械的仕事の量 W と熱量 Q の和は始めと終わりの状態だけで決まり, 途中の過程によらない. $U_2 - U_1 = W + Q$

エネルギーの収支の調査対象

エネルギーの収支を調べるには“開いた系”での適当に選択された領域としての“検査体積”(control volume)を考える必要がある.

“閉じた系”では質量は境界を横切ることにはないがエネルギーは横切ることが出来る. 閉じた系に対するエネルギー相互作用の形態は熱伝達(heat transfer)と仕事(work)との二つだけであり, 開いた系では系を出入りするエネルギーも交換される.

開いた系と閉じた系では適用されるエネルギー関係式が異なる. それゆえに, ある系を解析する前にその系の型を識別することが重要である.

エネルギーの形態

熱エネルギー, 仕事, 運動エネルギー, ポテンシャルエネルギー, 電気エネルギー, 磁気エネルギー, 化学エネルギー, 核エネルギー等の形態で存在するその和は全エネルギーとなる. 全エネルギーは2つのグループに分けることができる.

巨視的エネルギー: 運動エネルギーやポテンシャルエネルギーのように, ある外部の基準座標系し, 全体が持つエネルギー形態. (macroscopic)

微視的エネルギー: 系の分子構造と分子の活動状態に関係し, 外部の基準座標系には無関係なエネルギー形態. (microscopic) その総和は内部エネルギー(internal energy)として“U”で普通表記される.

内部エネルギー: 分子レベルでは振動, 併進, 回転等の運動をしている. 分子の運動に伴うエネルギーは顕在エネルギー(sensible energy)と呼ばれる. 殆どの機械振動による減衰(ダンピング)は顕在エネルギーに変換される. (まれに相変化や分子間結合変化を生じさせる時もある.) 分子間に働く力に関係し気相, 液相, 固相等の相変化を起こす様なエネルギーは潜在エネルギー(latent energy)とよばれる. 分子中の原子結合に属するエネルギーは化学エネルギー(chemical energy)と呼ばれる. その他核エネルギー(nuclear energy)等がある. 内部エネルギーの内, 顕在エネルギーと潜在エネルギーとは熱(heat)と呼ばれそれは物体に含まれている. 熱伝達との混同を避けるために, これらのエネルギーを熱エネルギーとも呼ぶ.

熱について : 熱(heat)とは, 温度差によって二つの系の間を(あるいは系とその外界の間を)伝達するエネルギーの形態と定義してよい. すなわちあるエネルギーの相互作用が温度差による場合には, それは熱である. 従って, 同じ温度にある二つの系の間ではいかなる熱伝達も生じない. 別な表現で言えば, 熱とは過渡状態にあるエネルギーをいい, それは系の境界を横切るときのみ熱として感知される. 単位はエネルギーの単位(kJ等)持つ.

全エネルギー(E)の表記例

1)エネルギー表記例

系のすべての部分が同じ速度で運動するときその運動エネルギーKEは $KE = mV^2/2$ 重力場でのある高さzに置かれた系が所有しているポテンシャルエネルギーPEは、 $PE = mgz$; gは重力加速度, zは任意に選ばれた基準面からの系の重心までの高さ. 磁気, 電気, 表面張力の影響を考えないとするならば全エネルギーEは次のように表わされる. Uは内部エネルギーとし,

$$E = U + KE + PE = U + \frac{1}{2}mV^2 + mgz \quad (kJ) \quad (1.1)$$

単位質量あたりでは

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (kJ / kg) \quad (1.2)$$

2)流体力学に現れるエネルギー式

流体の場合の単位質量の流体のもつエネルギーには内部エネルギーeと運動エネルギー $(1/2)V^2$ があり, 一方単位質量の流体になされる仕事には外力 F_0 と内部応力によるものがある. 前者は $V \cdot F_0$, 後者は圧力勾配による仕事, 摩擦力による仕事(機械的摩擦仕事), ある圧力における体積変化による仕事, 及び流体摩擦による発生熱がある. さらに単位体積の流体に外部から加えられる熱量の合計Q/密度, などがエネルギーの保存則は次のように表される.

$$\frac{De}{Dt} + \frac{D}{Dt} \left(\frac{V^2}{2} \right) = VF - V \frac{1}{\rho} \text{grad}(p) + Vf - \frac{p}{\rho} \text{div}(V) + \frac{\Phi}{\rho} + \frac{Q}{\rho} \quad (1.3)$$

ここに D/Dt は 編微分演算子で $\partial/\partial t + u\partial/\partial x + v\partial/\partial y + w\partial/\partial z$ を表す.