自動車工学　　レポート問題

下記の手順に従い，問題番号のうち 2 問を選んで解答せよ．

1. (学籍番号の下 1 桁) + 1.
2. (学籍番号の数字の和を 15 で割った余り) +11.

例　学籍番号　81640072 の場合

1. 2+1=3　　問題 3
2. 8+1+6+4+0+0+7+2=28　　MOD(28/15)+11=13+11=24　　　　問題 24

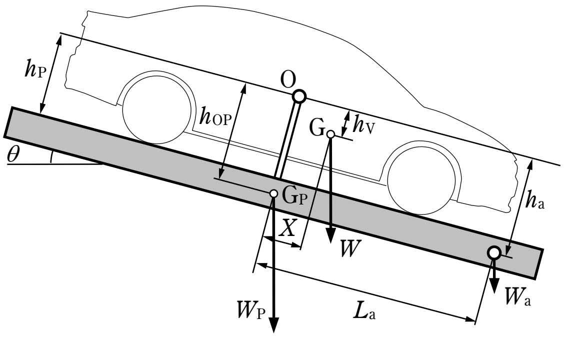
締め切り　　8 月 2 日（金）

提出先　　機械航空系事務室

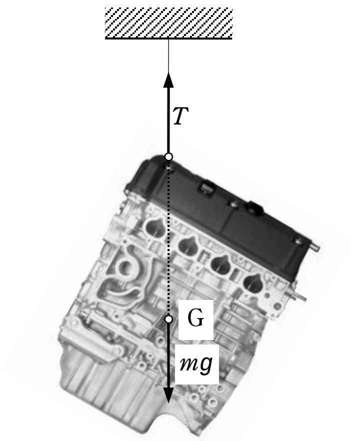
問題は下記ホームページに掲載されている．

http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/hseg/class.html

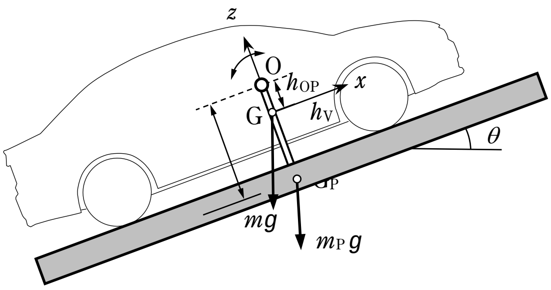
1.　図に示すように，点 O を中心に前後方向に回転可能な台がある．点 O は台のみの重心 G_P の鉛直線上にある．自動車を台の上に載せ，さらに台の先端に重り W_a を付加したところ，台は角度 θ だけ傾き静止した．点 O と自動車の重心の高さの差 h_V を求めよ（重心測定のための重りバランス法）．



2.　エンジンをワイヤーでつるしたときに，ワイヤーの延長線上にエンジンの重心があることを示せ．この方法によって，エンジンの重心を求める方法を述べよ．

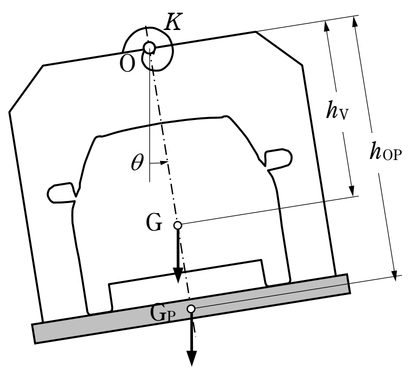


3.　自動車の重心を通る左右軸まわりの慣性モーメントの計測方法について考える．
図のように，軸 O のまわりに回転が可能な台の上に自動車を固定する．自動車の重心，台の重心は O の鉛直線上にあり，つり合い位置から台を左右に振ったときの周期は T であった．自動車の質量，重心まわりの慣性モーメントを m, I_y, 台の質量および軸 O のまわりの慣性モーメントを m_P, I_{Py} とするとき，自動車の慣性モーメント I_y を T で表せ．

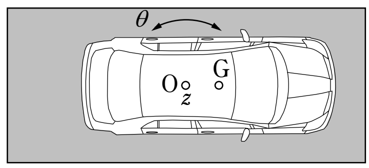


4.　自動車の重心を通る前後，上下軸まわりの慣性モーメントの計測方法について次の問いに答えよ．

(1) 左右に振れる台車を用いて自動車の前後軸まわりの慣性モーメントを求める．初期状態では自動車の重心, 台の重心は O の鉛直線上にある．自動車および台の質量，重心まわりの慣性モーメントを $m, m_{\mathrm{P}}, I_x, I_{\mathrm{P}x}$, 台の回転軸の回転ばね定数を K とする．台を左右に振ったときの周期は T であった．自動車の慣性モーメント I_x を T で表せ．



(2) 自動車を固定した台車を点 O を通る z 軸のまわりに回転させる．回転軸は台車の重心にあり，回転ばね定数は K である. 自動車の重心 G は点 O から距離 h だけ離れているものとする．台に初期角度を与えたところ，自動車を固定した台が周期 T で振動を始めた．自動車の重心を通る z 軸まわりの慣性モーメント I_z を T で表せ．

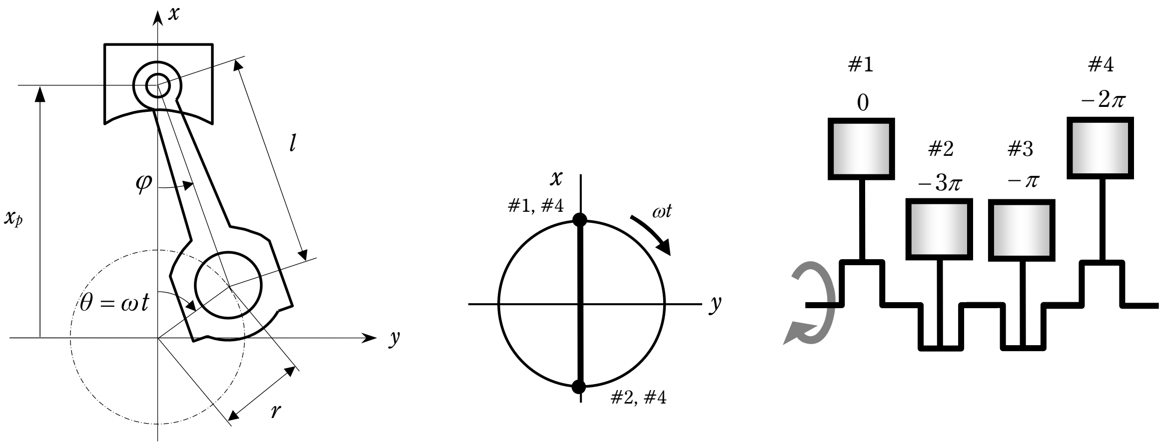


5.　図に示すエンジンについて，往復部の質量を m，コンロッド比を $\rho = r/l$ とする．ピストンの変位は $x = r\{\cos\theta + (1/\rho)\cos\varphi\}$ で与えられる．次の問いに答えよ．

(1) $\cos\varphi = \sqrt{1-\sin^2\varphi} = (1-\rho^2\sin^2\theta)^{\frac{1}{2}} \cong 1 + A_0 + A_2\cos 2\theta + A_4\cos 4\theta + A_6\cos 6\theta$ と近似するとき，A_0, A_2, A_4, A_6 を求めよ．

(2) クランクシャフトが一定回転数 ω (rad/s)で回転している．ピストンの加速度を $\ddot{x} = -r\omega^2(B_1\cos\theta + B_2\cos 2\theta + B_4\cos 4\theta + B_6\cos 6\theta)$ と表すとき，B_1, B_2, B_4, B_6 を求めよ．

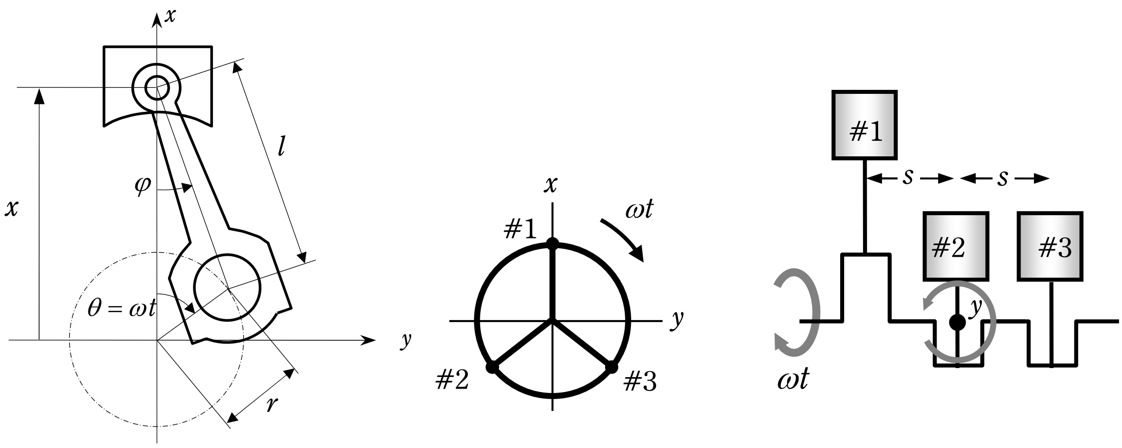
(3) 4 気筒エンジンのピストンの配置が右図のように与えられている．往復部の慣性力 $F_R = -m\ddot{x}_p$ によるエンジンの上下方向の不平衡力および不平衡偶力（点 O のまわりのモーメント）を求めよ． $\rho = 1/3$ とするとき，不平衡力および不平衡偶力を求めよ．



6.　図に示すエンジンについて，コンロッド長さ l，ストローク長さ $2r$，ピストンの位置 x，往復部の質量 m とするとき，下記の問いに答えよ．

(1)　往復部質量により発生する上下慣性力を求めよ．

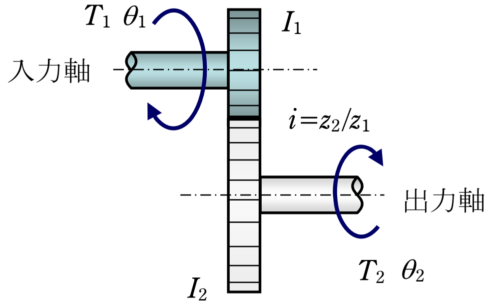
(2)　図のように 3 気筒エンジンの各気筒の位相を配置した．このとき上下方向（x 方向）の慣性力，および y 軸まわりに作用する慣性偶力を求めよ．



7.　図の入出力歯車列について，歯車 1, 2 の慣性モーメントを I_1, I_2，歯車 1, 2 の変速比（歯数の比）を i とする．次の問いに答えよ．

(1)　歯車 1, 2 の運動方程式を求め，入力軸からみた歯車列の全慣性モーメントを求めよ．

(2)　歯車列の運動エネルギーを入力軸の回転角で表し，ラグランジュの方程式を用いて，入力軸からみた歯車列の全慣性モーメントを求めよ．



8.　車両質量mの自動車があるエンジン回転速度n_{E}と変速比i_{T}にて平坦路を走行している．次の問いに答えよ．ただし，以下の変数を用いよ．

エンジン回転速度 n_{E} (rpm), エンジントルク T_{E}，タイヤの有効半径 r, タイヤの転がり抵抗 μ_{r}，変速機の変速比 i_{T}，伝達効率 η_{T}，終減速機の変速比i_{F}，終減速機の伝達効率 η_{F}，空気抵抗係数 μ_{a}，車両前面投影面積 A, 車両重量 W, 回転部の慣性モーメントの相当質量 m_{e}

(1) 車速Vを求めよ．

(2) 駆動力と走行抵抗を求めよ．

(3) この時点における車の加速度を求めよ．

9.　エンジンのクランク軸の角速度を ω_{e} (rad/s), トルクを T_{e} (N/m) とする．トランスミッションの変速比を i_{t}, 終減速機の減速比を i_{f}, タイヤの有効半径を r_{w} とするとき，つぎの問いに答えよ．

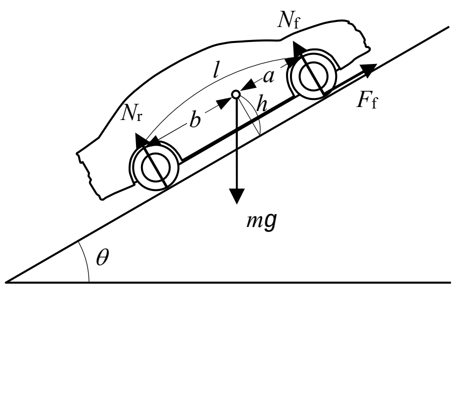
(1) トランスミッションの出力軸および車軸について，角速度とトルクはそれぞれいくらか.

(2) 自動車の速度 V (m/s), 駆動力 F, 出力 P はいくらか.

(3) エンジンの回転速度を n_{e} (rpm) と表すとき，車の速度 V (km/h) はいくらになるか.

10. エンジンのトルク T がクランクシャフトの角速度 $\omega = \omega_0$ (rad/s) で最大値となり，$T = -a(\omega - \omega_0)^2 + T_{\max}$（$a > 0$）と表されるものとする．ただし $\omega > 0$ で $T > 0$ を満たすものとする．出力Pが最大となる角速度ωは，ω_0よりも大きいことを示せ.

11. 図のように，車両質量 m の自動車が角度 θ の斜面を登るものとする．摩擦係数の自動車のホイールベースを l, 車両重心と前軸・後軸間の距離をそれぞれ a, b, 車両重心の地上高を h, タイヤと路面の摩擦係数を μ とする．タイヤが滑り出すときの最大登坂角度 $\theta_{\max}$ を前輪駆動車，後輪駆動車のそれぞれについて求めよ．また，四輪駆動車について，前後のタイヤが同時に滑り出すように駆動トルクが前後軸に配分されていると仮定して，最大登坂角度 $\theta_{\max}$ を求めよ．ただし，登坂は低速であり，タイヤの転がり抵抗，自動車の空気抵抗，慣性抵抗は無視できるものとする．

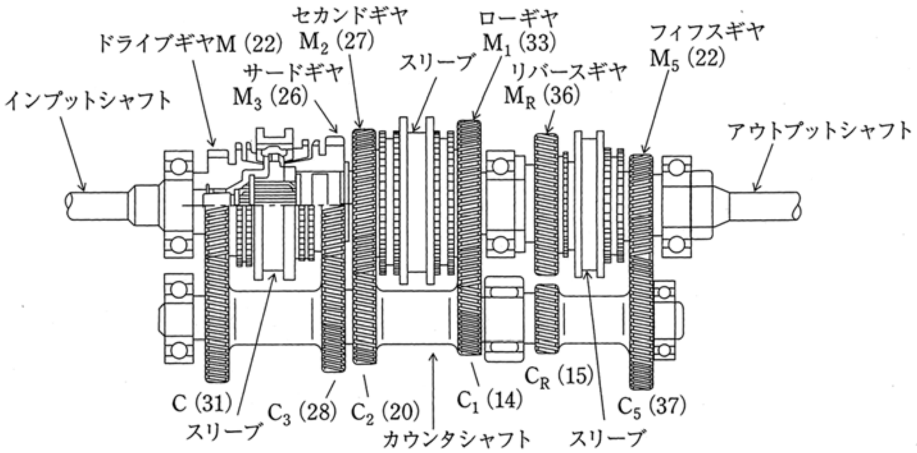


12. 図に示す変速装置を備え，終減速装置の減速比 i_f が 3.9 の後輪駆動車において，エンジンの回転速度 N_E が 3200 rpm であるとき，つぎの問いに答えよ．

(1) カウンタシャフトの回転速度を求めよ．

(2) 第 1 速から第 5 速のそれぞれについて，トランスミッションの変速比を求めよ．

(3) 第 4 速で直進しているとき，後輪の回転速度を求めよ．



注：(　) 内は歯数

13. 車両質量 m の自動車の終減速比を i_F，タイヤの有効半径を r，変速機，終減速機の伝達効率を η_T, η_F とする．エンジンはシリンダ容積を V_S とする 4 サイクル 4 気筒とし，全負荷時の正味平均有効圧力は p_{me} であり，これはエンジン回転数により変化しないものとする．

(1) エンジンの最大トルク T_E を求めよ．

(2) 登坂性能（最大登坂角度 θ_0）から変速機の 1 速の変速比をきめるものとする．1 速の変速比 i_1 を T_E で表せ．ただし，タイヤの転がり抵抗は無視できるものとする．

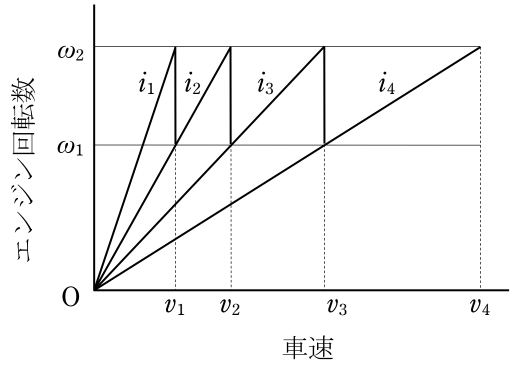
(3) 最高速 V_{max} から 5 速の変速比 i_5 をきめるとき，変速比 i_5 を T_E で表せ．ただし，タイヤの転がり抵抗係数を μ_r，空気抵抗係数 μ_a，車両前面投影面積を A とする．

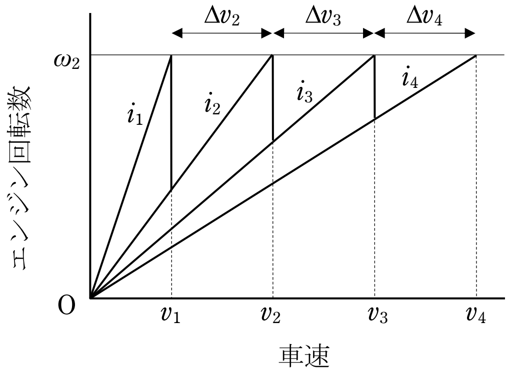
14. トランスミッションの変速比の決め方について次の問いに答えよ．

(1) 図のように，n 速からなるトランスミッションの各変速におけるエンジンの角速度 ω（rad/s）を $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ の範囲で用いる．$\omega_1 / \omega_2 = c_g$ とするとき，j 速（$1 \leq j \leq n$）の減速比 i_j を 1 速の変速比 i_1 を用いて表せ．また，n 速における変速比を i_n とするとき，c_g を i_1, i_n で表せ（等比級数変速）．

(2) 変速による車速差を一定とするとき，次式が成り立つことを示せ（等差級数変速）．

$$\frac{2}{i_i} = \frac{1}{i_{i+1}} + \frac{1}{i_{i-1}}$$



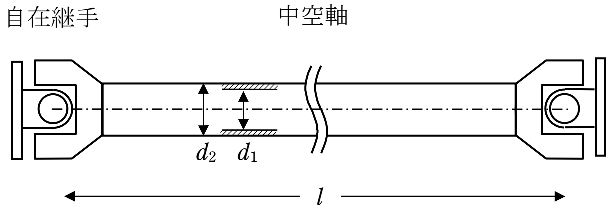


15. プロペラシャフトの中空軸の長さ l, 外径 d_2, 内径 d_1 とするとき，最大伝達トルク $T_{\max}$, および高回転時の中空軸の振れ回りによる共振回転数 n_{c} は，それぞれ次式で与えられる．

$$T_{\max} = \frac{\pi(d_2^4 - d_1^4)}{16 d_2} \tau_{\max} \qquad ①$$

（$\tau_{\max}$ は最大せん断応力）

$$n_{\mathrm{c}} = \frac{30\pi}{l^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \ \ \text{(rpm)} \qquad ②$$



（$A = (\pi/4)(d_2^2 - d_1^2)$，$I = (\pi/64)(d_2^4 - d_1^4)$， E は弾性係数， ρ は密度）

(1) エンジンの最大トルクを $T_{\mathrm{E\,max}}$, トランスミッションの 1 速の変速比を i_1, 伝達効率を η_{t} とするとき，式①から d_2, d_1 が満たすべき式を求めよ．

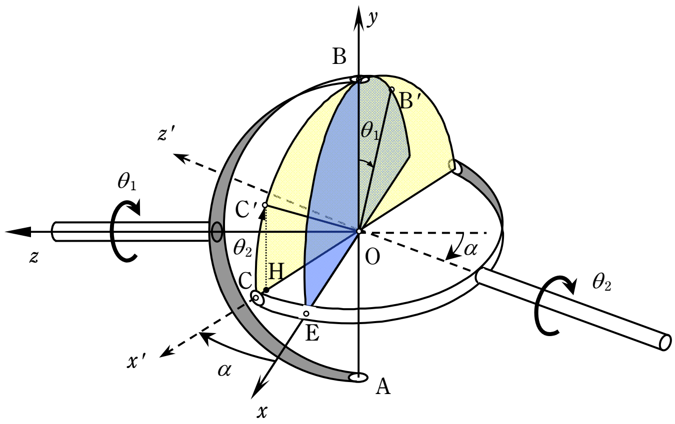
(2) 自動車が 5 速で最高速をとり，そのときのエンジンの回転数を $n_{\mathrm{E\,max}}$，トランスミッションの 5 速の変速比を i_5 とする．式②から d_2, d_1 が満たすべき式を求めよ．

(3) 中空軸の板厚 t が外径に比べて小さいものとして，(1)(2)の関係を t を用いて表せ．

16. 図のような自在継手について座標軸を定義し，軸 1 を入力軸 (z 軸)，軸 2 を出力軸とし，軸 2 は軸 1 に対して y 軸まわりに回転した交角 α を持つ．十字軸の端部は半径 1 の球面上を回転するものとし，軸 1 の端部は弧 AEB の円上を回転し，軸 2 の端部は弧 CBD の円上を回転する．軸 1 が角度 θ_1 だけ回転したときの軸 2 の回転角を θ_2 とし，この回転にともない点 B は点 B'，点 C は点 C' に移動する．次の問いに答えよ．

(1) $\overrightarrow{\mathrm{OB'}}$，$\overrightarrow{\mathrm{OC'}}$ の成分を (x, y, z) 座標で表せ．ただし，$\overrightarrow{\mathrm{OC'}}$ を x' 軸に降ろした垂線の足を H とすると，$\overline{\mathrm{C'H}} = \sin\theta_2$，$\overline{\mathrm{OH}} = \cos\theta_2$ となることを用いよ．

(2) 十字軸が直角に保たれるためには $\overrightarrow{\mathrm{OB'}}$ と $\overrightarrow{\mathrm{OC'}}$ が直交していなければならない．この条件から $\tan\theta_2 = \cos\alpha\tan\theta_1$ を導け．



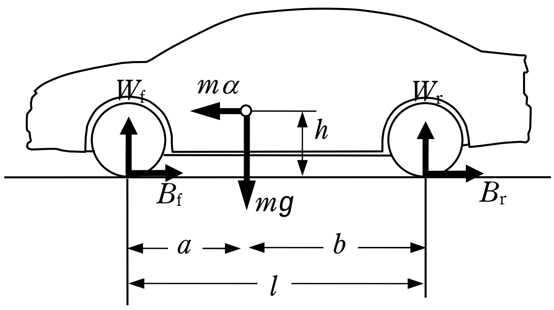
17. 前輪駆動の自動車に駐車ブレーキをかけ，AT をパーキングに入れた状態で，前 2 輪のみジャッキアップした．このとき，右前輪を前方に θ（rad）だけ回転させると，左前輪はどうなるか．理由を合わせて答えよ．

18. 質量 m の自動車が図に示すように減速度 α で制動しているものとする．このとき以下の問いに答えよ．ただし，車両重心位置は図に示す記号を用いよ．

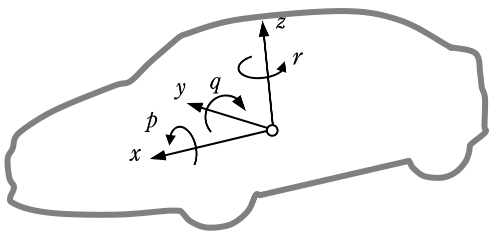
(1) 前後輪の接地荷重 W_f, W_r を求めよ．

(2) 前後輪タイヤにともに路面に対して最大の摩擦力（摩擦係数 μ_{max}）が発生しているものとする．このときの車両減速度 α を求めよ．

(3) (2)の状態における前後輪の制動力 B_f, B_r を求め，μ_{max} が変化するとき，横軸に B_f，縦軸に B_r をとり，このグラフの概略を描け．



19. 図に示すように自動車の重心を原点として車両前方，横方向，下方向に車両固定座標系 O-xyz を定義する．車両の主軸は x, y, z 方向に一致している．車の質量を m，慣性モーメントを I_x, I_y, I_z とする．x, y, z 方向の車の速度を u, v, w, および x, y, z 軸のまわりのロール，ピッチ，ヨー角速度を p, q, r とする．外力を F_x, F_y, F_z，力のモーメントを M_x, M_y, M_z とするとき，自動車の運動方程式は車両固定座標系によって次のように表されることを示せ．



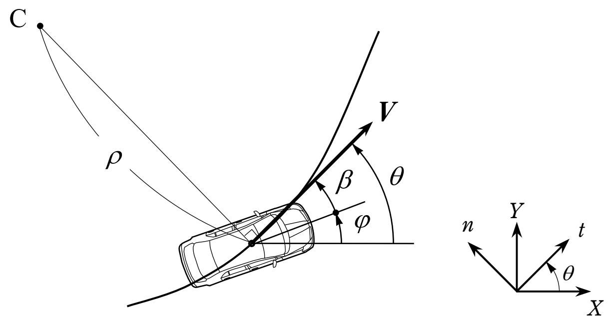
$$
\left.\begin{aligned}
m(\dot{u}+qw-rv)&=F_x\\
m(\dot{v}+ru-pw)&=F_y\\
m(\dot{w}+pv-qu)&=F_y
\end{aligned}\right\}
\qquad
\left.\begin{aligned}
M_x&=I_x\dot{p}+(I_z-I_y)qr\\
M_y&=I_y\dot{q}+(I_x-I_z)rp\\
M_z&=I_z\dot{r}+(I_y-I_x)pq
\end{aligned}\right\}
$$

20. 自動車の運動方程式は様々な導き方がある．自動車の重心の運動をその軌跡の接線方向と法線方向に分け，それぞれの向きの力の成分を F_t, F_n, 自動車の速さを V, 回転半径を ρ とすると，自動車の重心の運動方程式は次式で表される．自動車の速さ Vを一定として，次の問いに答えよ．

$$m\frac{dV}{dt}=F_t \quad \text{（接線方向）}, \quad m\frac{V^2}{\rho}=F_n \quad \text{（法線方向）}$$

(1) 自動車の重心軌跡の法線方向の運動方程式について，車両重心の横滑り角を β, ヨー角速度を r とするとき，法線方向の運動方程式を次のように書きかえよ．

$$mV(\dot{\beta}+r)=F_n$$



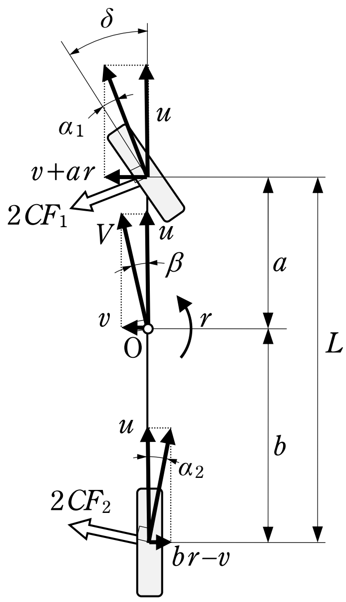
(2) F_n にタイヤのコーナリングフォースを代入すると，運動方程式が次式で表されることを示せ．前・後輪のコーナリングスティフネスを K_1, K_2, 重心と前・後輪の距離を a, b, 操舵角 δ とする．

$$MV\dot{\beta}+2(K_1+K_2)\beta+\left\{MV+\frac{2}{V}(aK_1-bK_2)\right\}r=2K_1\delta$$

21. 図のように, 質量 m の自動車が操舵角 δ, 重心の速さ V, 角速度 r で定常円旋回している．回転半径は十分に大きいものとして，次の問いに答えよ．

(1) 前後タイヤの横滑り角（スリップ角）α_1, α_2 を求めよ．

(2) 前輪, 後輪の各タイヤのコーナリングスティフネスを K_1, K_2 とする. 自動車にはたらく遠心力とコーナリングフォースがつりあうことから，自動車の重心の横方向と回転の運動方程式が次のようになることを示せ．



$$2(K_1+K_2)\beta+\left\{mV+\frac{2(aK_1-bK_2)}{V}\right\}r=2K_1\delta$$

$$(aK_1-bK_2)\beta+\frac{a^2K_1+b^2K_2}{V}r=aK_1\delta$$

(3) (2)で示した運動方程式から，β, r を δ で表せ.

(4) 旋回半径 R を求めよ.

22. 車両質量 M=1200 kg, 重心と前軸, 後軸の距離を a=1.1 m, b=1.5 m, 前後輪の左右各タイヤのコーナリングスティフネスを K_1=K_2=3.5×10^4 (N/rad) とする．自動車が速度 V で定常円旋回するとき，つぎの問いに答えよ.

(1) スタビリティファクタ SF を求めよ.

(2) 旋回半径を 50 m に固定し，速度 V を 20, 50 , 100 km/h と変化させたとき，それぞれの前輪の舵角 δ を求めよ.

(3) 前輪の舵角 δ を 3°に固定し，速度 V を 20, 50 , 100 km/h と変化させたとき，旋回半径をそれぞれ求めよ.

23. 状態方程式 $\{\dot{X}\}=[A]\{X\}+\{B\}$ で表される線形システムの特性方程式は次式で与えられる.

$$\det(\lambda[I]-[A])=0$$

状態変数が 2 つの場合，特性方程式は次のように書ける.

$$\lambda^2+a\lambda+b=0$$

(1) システムの動的安定条件は $a>0,\ b>0$ であることを示せ.

(2) 自動車の運動の状態方程式について，車両重心の横すべり角 β とヨー角速度 r を用いて $\{X\}=\{\beta\ \ r\}^T$ と表す．下記の問いに答えよ.

(i) $[A]$ を車両質量 M, 自動車の重心まわりの慣性モーメント I, 前・後輪のコーナリングスティフネス K_1, K_2，前軸・後軸と車両重心の距離 l_f, l_r，車両重心の速度の大きさ V を用いて表せ.

(ii) a, b を求めよ.

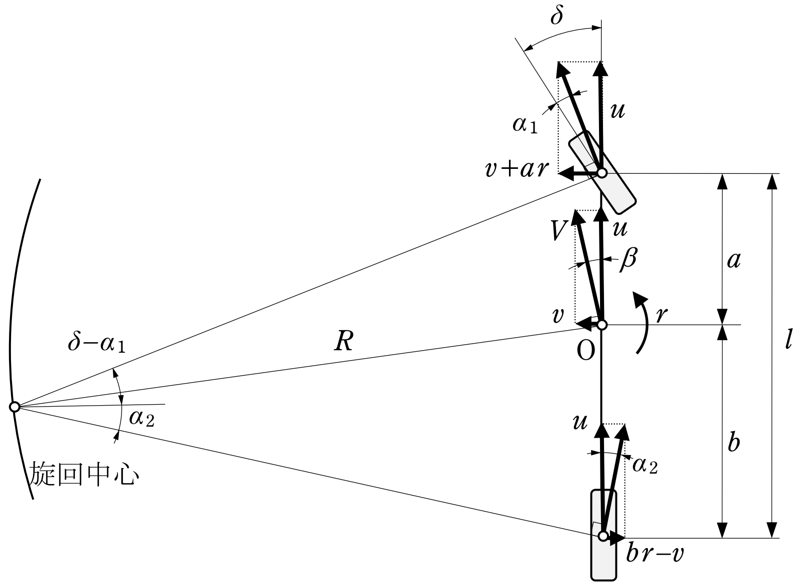
(iii) 車両の運動が動的安定となる条件は，スタビリティファクタ SF により $1+SF\cdot V^2>0$ と表されることを示せ.

24. 図のように, 自動車が操舵角を δ を一定に保ったまま, 速さ V で定常円旋回している. 自動車のホィールベースを l, 車両重心から前後輪までの距離をそれぞれ l_f, l_r, 前後の各タイヤのコーナリングスティフネスを K_f, K_r とするとき, 次の問いに答えよ.

(1) 前後輪タイヤのタイヤ横滑り角 α_1, α_2 を求めよ.

(2) ニュートラルステアの場合, α_1 と α_2 の関係はどのように表されるか.

(3) 図の幾何学的関係を参照し, ニュートラルステアの場合において操舵角 δ を一定とすると, 自動車の速さ V にかかわらず, 車両重心から見て旋回中心が同一円上にあることを示せ. 速さ V が極低速から大きくなるにしたがい, 車両重心から見た旋回中心はどのように移動するか.



25. 図のように, 直線走行中の自動車に対して横力が作用し, 自動車には横滑り角 β が発生した.

(1) 前後のタイヤに発生したコーナリングフォースの合力の着力点をニュートラルステアポイント (NSP) とする. 車両重心 G から NSP の後方距離 S をホイールベース L で無次元化した S/L をスタティックマージン (SM) とよぶ. SM を前・後輪タイヤのコーナリングスティッフネス K_1, K_2 を用いて表せ.

(2) スタティックマージンの符号とアンダーステア, オーバーステアの関係を求めよ.

(3) スタティックマージンの符号と, 横力を受けたときの車両安定性の関係を論じよ.