ハイブリッドシステム(エンジン＋発電機＋モータ)の制御系設計

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2018-06-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 阿部, 拓也, 神谷, 好承, 関, 啓明, 疋津, 正利, Abe, Takuya, Kamiya, Yoshitsugu, Seki, Hiroaki, Hikizu, Masatoshi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00050016

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

Copyright © 2013 JSPE

ハイブリッドシステム（エンジン＋発電機＋モータ）の制御系設計

金沢大学　○阿部 拓也，　神谷 好承，　関 啓明，　疋津 正利

Control system design of a hybrid system: Engine, Generator, and Motor

Kanazawa University　Takuya Abe, Yoshitsugu Kamiya, Hiroaki Seki, Masatoshi Hikizu

In recent years, environmental issues on a global scale are becoming more serious and we cannot ignore the impact of carbon dioxide of the automobile emissions and future energy depletion crisis. At that time, The Hybrid Car appeared. The car is made by Generator, Motor, and Electrical storage device in addition to Engine. It can run at low fuel consumption by selectively using these devices according to driving conditions: vehicle speed and load. But Control law of these devices is not disclosed to the public. So, we made simulator control system which can reproduce the hybrid system: Engine, Generator, and Vehicle referring to the Toyota Prius. And we evaluate and propose control law of Separation of power, Engine, Generator, and Vehicle by performing the simulation run with this simulator.

１．緒言

近年，地球規模での環境問題が深刻化する中，自動車の排出する二酸化炭素の影響や将来的なエネルギー枯渇の危機問題が無視できない状況になってきた．その背景で登場したのがハイブリッド車である．ハイブリッド車は従来のエンジンに加え，発電機，モータ，蓄電装置などの要素部品から構成される．これらの部品を車速，負荷などの走行条件に応じて使い分けることで，低燃費で走ることが可能である．しかし，その制御法は未だ公には明らかにされていない．そこで本研究ではトヨタプリウスを参考にエンジン，発電機，モータ，車両を動力伝達系としてモデル化した制御系シミュレータを開発し，走行シミュレーションを通して，動力分割，各部の動力制御の評価，提案を行う．

２．ハイブリッドシステムの構成とモデル化

エンジン，発電機，モータ，動力分割機構で構成されるシミュレーションモデルを Fig.1 に示す．動力分割機構とは遊星歯車機構を用い，エンジンの動力を発電機と駆動輪，モータに分割する機構である．遊星歯車機構の構造は Fig.2 に示す．遊星歯車機構はプラネタリーキャリア，サンギア，リングギア，プラネタリギアで構成され，キャリアはエンジン，サンギアは発電機，リングギアは駆動輪とモータにそれぞれ接続される．各回転数は常に以下の関係を保つ．

$$\omega_s + i_o\omega_a = (1+i_o)\omega_c \tag{1}$$

$$i_o = \frac{r_a}{r_s} \tag{2}$$

ここで，ω_c，ω_s，ω_a と r_c，r_s，r_a はそれぞれキャリア，サンギア，リングギアの回転数と回転半径である．

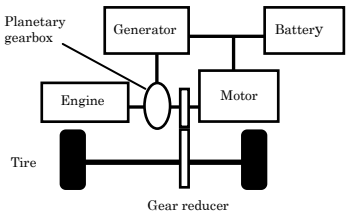


Fig.1 Hybrid system model

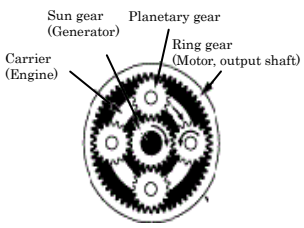


Fig.2 Planetary gearbox

さらにプラネタリーキャリアのトルクを T_r とすると，サンギア，リングギアのトルク T_d，T_b は(3)，(4)の関係で表される．

$$T_d = \frac{1}{1+i_o}T_r \tag{3}$$

$$T_b = \frac{i_o}{1+i_o}T_r \tag{4}$$

また，車両速度 $\dot{x}$ は以下より算出する．

$$M\dot{x} = F_w - F_{res} - F_{bra} \tag{5}$$

M は車両重量，F_w は駆動力，F_{res} は空気抵抗，転がり抵抗，勾配抵抗からなる走行抵抗，F_{bra} は制動力である．

以下，エンジン回転数を ω_c とし．エンジンの回転数は(6)より算出する．

$$I_E\dot{\omega}_c = T_{out} \tag{6}$$

$$T_e = f_1(P_{acc}) - f_2(P_{acc}, \omega_c) \tag{7}$$

$$T_{out} = T_e - T_{dr} - T_{br} \tag{8}$$

I_E はエンジンの慣性モーメントであり，T_e はアクセル開度 P_{acc} に比例したトルクと，アクセル開度 P_{acc} に対しエンジンが高回転の場合に生じるトルク損失で表すものとする．また，プリウスのエンジン性能に関して，4000[rpm]時に最高トルク142[Nm]を示す．以上を踏まえ，Fig.3 に使用する理想エンジンの性能を示す．

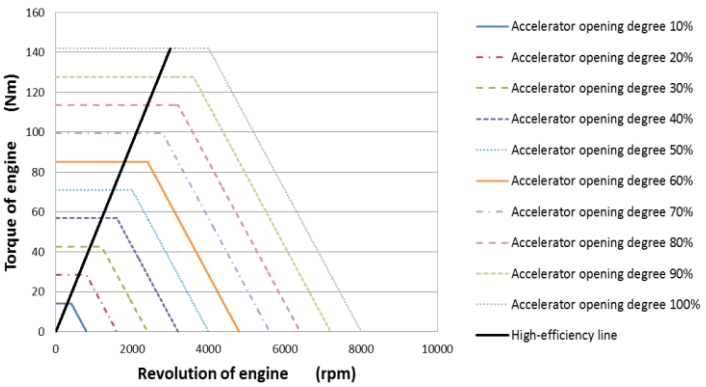


Fig.3 High-efficiency range

Copyright © 2013 JSPE

エンジンの高効率領域を Fig.3 内に示す高効率線上と仮定し，エンジンが常に高効率線上で運動するように制御する．

高効率線上におけるエンジン回転数はエンジン目標回転数 ω_{ct} として，式(9)のようにアクセル開度 P_{acc} の比例式で与えられる．

$$\omega_{ct} = 21.1(1.42P_{acc} - 0.1) \tag{9}$$

エンジンの回転数は式(1)の関係を維持しながら，式(6)，(8)で示す抵抗の影響を受け，サンギアとリングギアからの抵抗トルク T_{dr}, T_{br} がエンジンの発する動力に比べて小さければ増加し，大きければ減少する．このことを利用し，発電機を制御することでエンジンの回転数を高効率領域で維持する．発電機の発電トルク τ は以下の式で表される．

$$\tau = \frac{K^2}{R}\alpha\omega_s \tag{10}$$

本研究では，発電トルクにおける調整パラメータ α を制御することでエンジン回転を高効率領域内で制御し，各回転数の制御を行う．

これまでの理論に基づいたハイブリッドシステムのブロック線図並びに使用するパラメータを次の Fig.4 と Table.1 で示す．

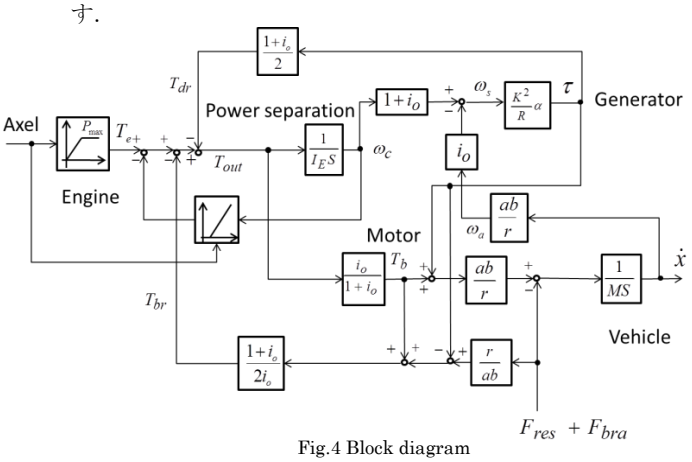


Fig.4 Block diagram

Table.1 Parameter

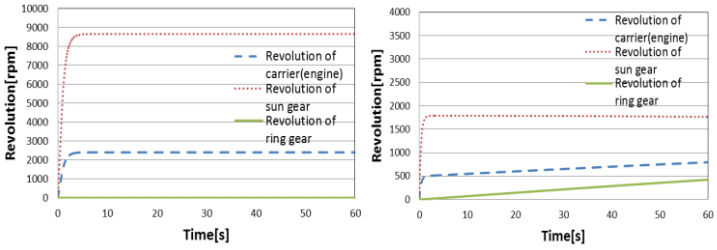
Item	Symbol	Value	Unit
Moment of Engine inertia	I_E	13.03×10^{-2}	kgm^2
Constant torque	K	1.2	Nm/A
Resistance	R	10	Ω
Vehicle weight	M	1350	kg
Tire effective radius	r	0.300	m
Transmission gear ratio	a	1	
Reduction ratio	b	3.267	

3．シミュレーション

まず，車両が停止した状態（$\omega_c = 0, \omega_s = 0, \omega_a = 0$）からアクセルを踏んだとき，発電の有無で各ギアの回転数がどのように変化するかをシミュレーションで示す．前提条件として，アクセル開度 $P_{acc} = 30[\%]$，勾配 $i = 0[\%]$ でコンクリートの平坦路を走るものとする．結果は Fig.5 に示す．

(a)は発電機の調整パラメータ $\alpha = 0$，つまり発電していない状態でのシミュレーション結果を表している．発電していない分負荷がかからないため，サンギア回転数 ω_s は 9000[rpm] 近くまで上がっており，かなり高い値を示している．しかし車両には発電トルクが伝わらないためリングギア回転数 ω_a はほぼ 0[rpm]である．

(b)は調整パラメータ $\alpha = 1$ のときの結果である．発電して負荷がかかる分サンギア回転数 ω_s は下がるが，発電トルクが車両に伝わるため，車速は上がり，リングギア回転数 ω_a は上昇する．



(a) $\alpha = 0$　　(b) $\alpha = 1$

Fig.5 Simulation result

以上の結果をエンジン回転数に着目してエンジン性能図上で表すと Fig.7 のようになる．$\alpha = 1$ のとき，$\alpha = 0$ に比べるとより一層高効率線に近づくが，高効率線上の値より若干低い値を示した．よってエンジン回転数を高効率線上で制御するためには $0 \le \alpha \le 1$ で α を制御し，エンジン回転数を調整する必要があると考える．これを踏まえ，次に $0 \le \alpha \le 1$ で α を可変させてシミュレーションする．

エンジン回転数 ω_c に関して $\omega_c < \omega_{ct}$ ならば $\alpha = 0$，$\omega_c \ge \omega_{ct}$ ならば $\alpha = 1$ として α を制御する．また先程と同じく，アクセル開度 $P_{acc} = 30[\%]$，勾配 $i = 0[\%]$ である．

以上の条件でシミュレーションした結果を Fig.6 に示す．

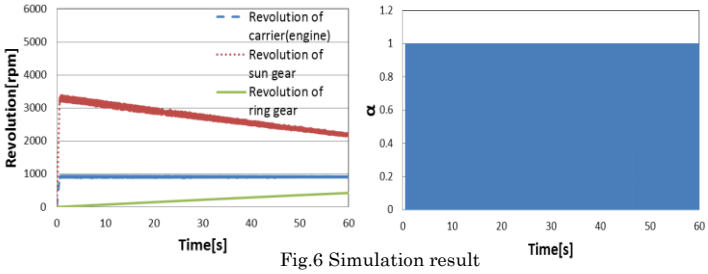


Fig.6 Simulation result

以上の結果を Fig.7 のエンジン性能図上で表すと，ほぼ高効率線上にあることがわかる．

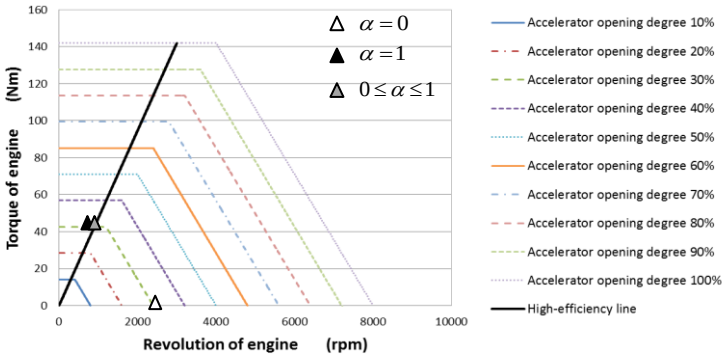


Fig.7 High-efficiency range

4．結言

ハイブリッドシステムを再現する走行シミュレータを開発し，走行中，発電機における α を制御することでエンジン回転数を高効率領域で維持する制御を提案することができた．実際のハイブリッドシステムの制御系は公表されていないため，シミュレーションとの比較はできず，使用した値などは実機と差があると考えられるが，実機搭載部品性能に合わせて設定値を対応させることで，その差も小さくなり，シミュレーションツールとして応用できると考える．