

蒸気機関車の牽引定数

まえがき

ブルートレインの歴史などの記事を読んでいると、「牽引機をC57からC60に換装することにより、牽引定数は250tから260tとなり、ナハネ20を1輛増結した」などの表現がある。この表現は、幾分正確でない点があるので、鉄道車輛の動力性能について纏めてみた。

牽引定数

設定速度に対して機関車が牽引可能な最大重量を牽引定数という。設定速度は、特急、急行、普通などの列車種別により異なる。設定速度が同じでも、路線の勾配が急になれば、牽引可能な最大重量は減少する。tonまたは換算輛数で表される

車輛重量

車輛は種類により重量が異なるので、列車牽引などには重量10tの車輛に換算した換算輛数が使われる。単位は5t刻みの0.5輛としている。旅客列車や貨車は空車と積車で重量が異なるので、空車換算と積車換算がある。たとえば、オハネフ25の場合、自重32t、乗客や水など5tを積んで、積車重量は37tになるから、空車換算3.0輛、積車換算3.5輛となる。

車輛の重量記号は、例えばコキ5500の場合「キ」で、ナハネ20の場合「ナ」である。貨車と客車の車輛重量記号を表1に示す。

表1 貨車と客車の重量記号

記号	積載重量	記号	積載重量
なし	13t以下	ナ	30t
ム	14~16t	オ	35t
ラ	17~19t	ス	40t
サ	20~24t	マ	45t
キ	25t以上	カ	47.5t以上

蒸気牽引時代の「つばめ」は、スハニ1輛+スハ3輛+スロ5輛+マシ1輛+マイテ1輛の11輛だから、

$$40t \times 9 + 45t \times 2 = 450t$$

初期の「あさかぜ」の編成は20系客車12輛+マニ20(45t)の13輛だから、

$$30t \times 12 + 45t = 405t$$

コキ5500は、空車重量が15t、5tコンテナを5個積載するから、 $15t + 5t \times 5 = 40t$

したがって、コキ5500×24輛+ヨ5000(13t)の場合、

$$40t \times 24 + 13t = 973t$$

これらが車輛総重量となる。

シリンダ引張力

蒸気機関車は、ボイラで発生した蒸気をシリンダ内で膨張させて動輪の回転力を得ている。蒸気エンジンでピストンが1往復する際にする仕事 W_p は、シリンダ直径: $d[cm^2]$ 、ピストン行程: $l[cm]$ 、シリンダ内平均有効圧力: $p_m[kg/cm^2]$ 、シリンダ数: n とすると、

$$W_p = 2 \frac{\pi d^2}{4} p_m l n$$

動輪が1周する際にする仕事 W_w は、シリンダ引張力: $T_c[kg]$ 、動輪直径: $D[cm]$ 、とすると、

$$W_w = \pi D T_c$$

$$W_p = W_w \text{だから、}$$

$$\pi D T_c = 2 \frac{\pi d^2}{4} p_m l n$$

したがって、シリンダ引張力: $T_c[kg]$ は、

$$T_c = n \frac{d^2 l}{2D} p_m$$

シリンダ内平均有効圧力 p_m は、加減弁*1全開、カットオフ*2最大の場合、ボイラ圧力 p_B の85%程度だから、最大引張力 T_{max} は、

$$T_{max} = 0.85 n p_B \frac{d^2 l}{2D}$$

C59もC62もボイラ圧力は $16.0kg/cm^2$ 、シリンダ直径は520mmだから、シリンダ引張力は13800kgと等しい。

*1加減弁

ボイラーで発生した蒸気をシリンダーに送る開閉装置で、蒸気の供給量を加減でき、出力・牽引力の調整は加減弁の開度と蒸気エンジンの弁装置の締切比によって行う。

*2カットオフ

蒸気エンジンでは、膨張行程のある比率のみ蒸気を供給し、残りの行程は蒸気の膨張を利用する。蒸気を供給する行程比率を締切比(cut off ratio)と言い、%で表す。カットオフは、発車時は最大で約80%、通常の運転時は20~40%としている。カットオフが大きければ牽引力を高められるが、蒸気消費量も増加する。

粘着引張力

鉄道車輛は、車輪とレールの間の摩擦力によって加速・減速を行っている。摩擦力 T_r は、動輪タイヤとレールの間の摩擦係数:

μ :(=0.25)、動輪上重量: $W_r[kg]$ とすると、式(2)で表される。

$$T_r = \mu W_r \quad (2)$$

鉄道車輛ではこの摩擦力のことを、粘着引張力という。C62の動輪上重量 W_r は48,200kg、C59の動輪上重量 W_r は48500kgだから、粘着引張力はそれぞれ、12050kg、13800kgである。

シリンダ引張力 T_c を粘着引張力 T_r 以上にしても空転を起こすだけである。したがって、従台車を1軸から2軸にして、軸重軽減を行った場合、シリンダ直径を小さくするのは、そのためである。

C62は関ヶ原の連続勾配にいとむ

久保田博氏は以下のように述べている:「やがて加減弁全開、カットオフ27%、ストーカは快調で、濃尾平野をほとんど不変の95km/h近い速度で快走する。(中略)いよいよC62は満身の力を振り絞って、東海道本線の最大の難所とされる関ヶ原の迂回線10%の連続勾配にいとむ。11輛編成の定数一杯の450t牽引はだんだん速度を落とし60km/h前後になる。カットオフを55%に伸ばし、ドラフトは咆哮して古戦場の山野にこだまする。」電気機関車では電気の供給は無限であるが、蒸気機関車では多量の蒸気を連続して供給できるボイラの能力が必要となる。

機関車の性能曲線

C59、C62が10%勾配で特急「つばめ」を牽引する場合の均衡速度がどの程度になるか調べてみよう。C59、C62の性能曲線を図1および2に示す。横軸が走行速度、縦軸が牽引重量である。いくつかの曲線があるが、それぞれ牽引重量の目盛線に沿って右側の各勾配曲線との交点が均衡速度である。

「つばめ」の総重量は、先述のように、450tだから、

図1の性能曲線で、縦軸の450t線と10‰勾配の曲線との交点を求め、横軸の速度を読むと、均衡速度は55km/hである。25‰勾配の場合、450tとの交点はないから、補機が必要となる。

同様にして、C59が450tを10‰勾配で牽引する場合、図2から、均衡速度は45km/hである。55km/hで走行するためには牽引重量を350tにしなければならない。

C59もC62もシリンダ引張力は13800kgと等しいが、この差がC59とC62のボイラの能力である。C62のボイラはC59のボイラより約10%大きいので、カットオフを55%まで伸ばせるが、C59ではそこまで伸ばせない。

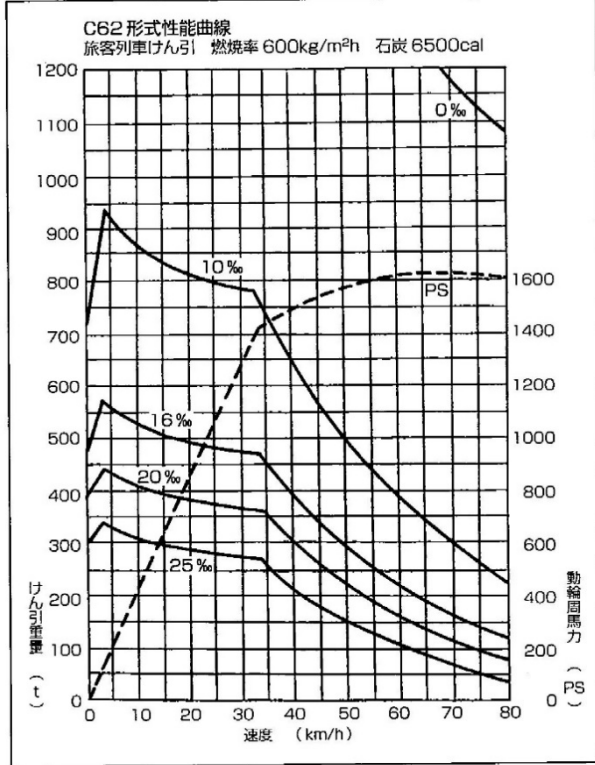


図1 C62の性能曲線

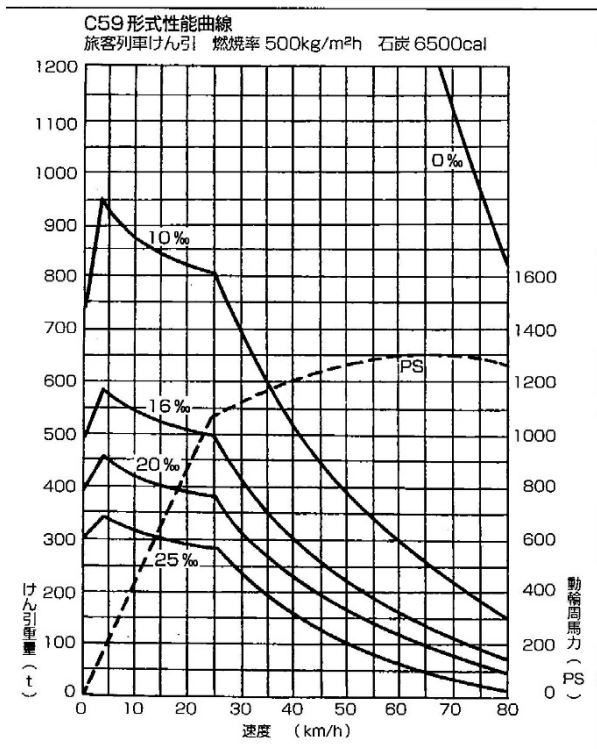


図2 C59の性能曲線

D51, D52が10‰勾配で1100tを牽引する場合

D51, D52が関ヶ原の連続勾配で1100tを牽引する場合の均衡速度を調べてみよう。

D51が10‰勾配で1100t貨物を牽引する場合の均衡速度は15km/hであるのに対し、D52の場合は25km/hである。かつてD52は大鉄局では一般に評価が低かったのに対し、隣の名古屋局はD52を絶対優位としていた。これは、関ヶ原の連続勾配ではD52とD51との性能の差は歴然としていたためであろう。

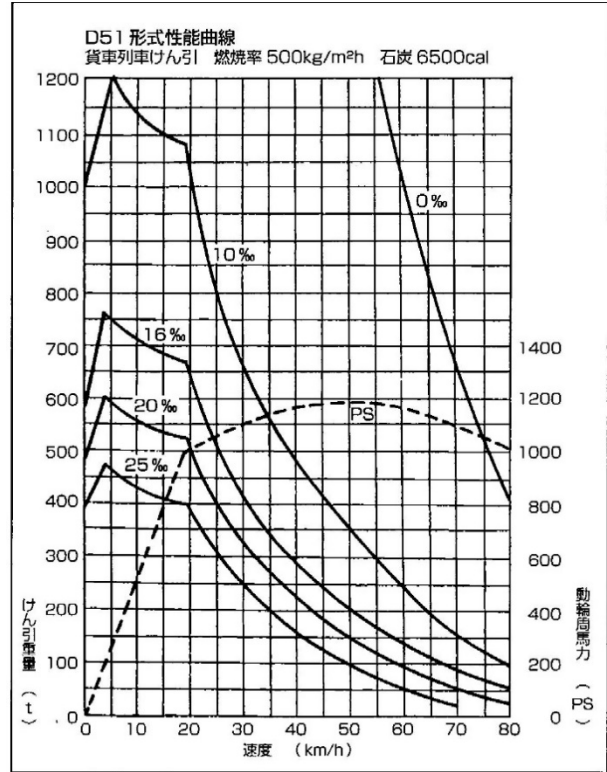


図3 D51の性能曲線

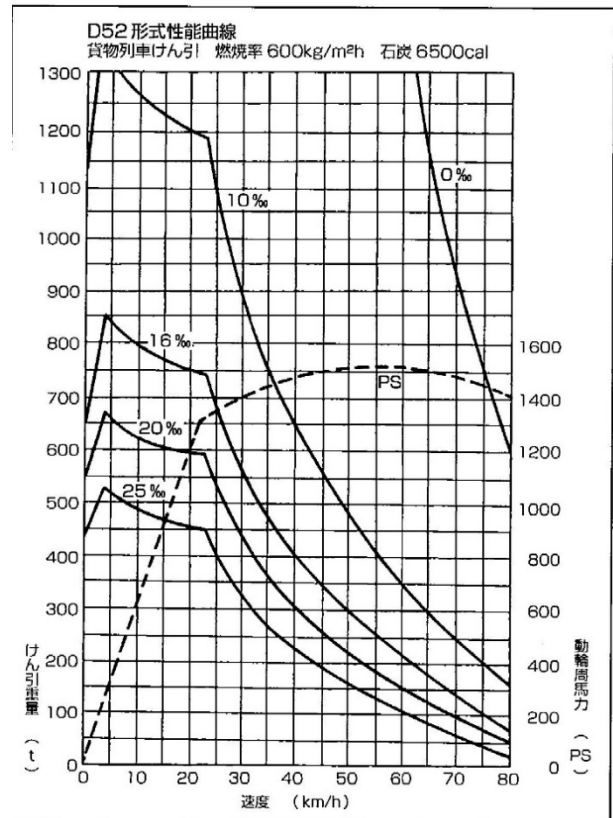


図4 D52の性能曲線

いくつかの形式の性能曲線を掲げておくので、色々やってみてください。結構楽しめます。

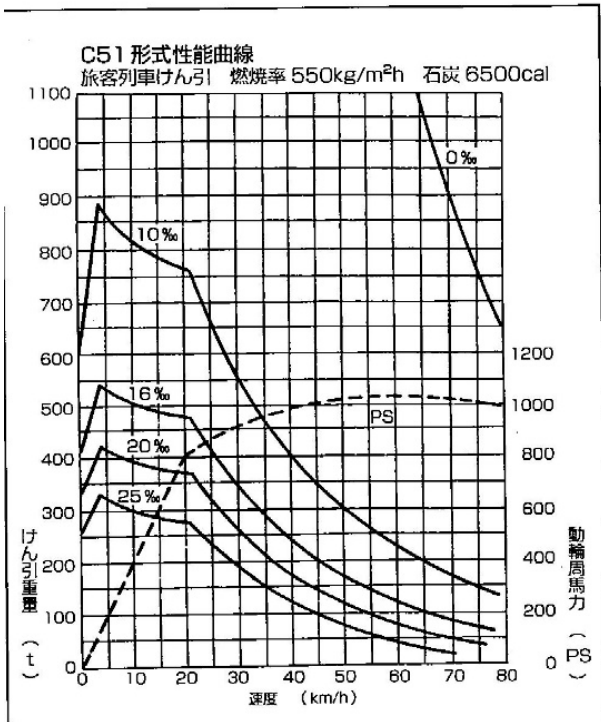


図5 C51の性能曲線

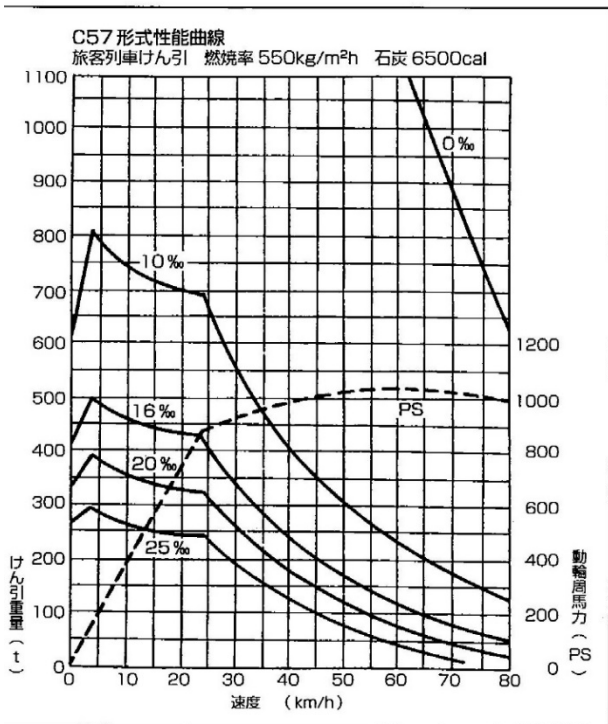


図6 C57の性能曲線

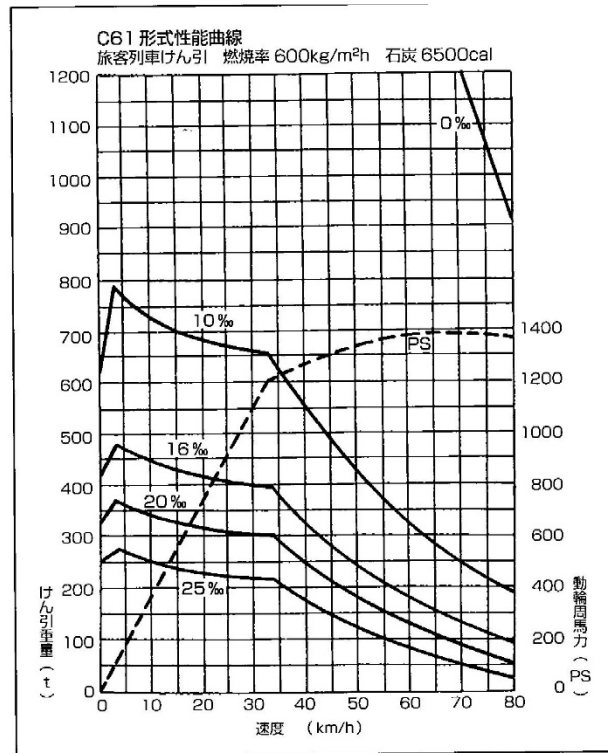


図7 C61の性能曲線

練習問題

10%で400t牽引，均衡速度は？

- 1) C51 : 40km/h
- 2) C57 : 40km/h
- 3) C59 : 50km/h
- 4) C61 : 52km/h
- 5) C62 : 60km/h
- 6) D51 : 46km/h
- 7) D52 : 55km/h
- 8) C60+C61 重連が 25%を45km/hで走行可能な車輛重量は？ : C61 単機で 25%を45km/hで走行可能な車輛重量は 150t だから，重連では 300t. 40t (スハ，スロ) の客車だと 7輛.
- 9) D51 三重連が 25%を 1000t 牽引で，均衡速度は？ : D51 単機で 25%を 330t 牽引の場合の均衡速度は30km/hだから，三重連で 1000t 牽引では均衡速度は30km/h.

表2 SLの諸元

型式	製造初年	輛数	軸配置	動輪径	動輪上重量	最大軸重	Bore×Stroke	圧力	シリンダ引張力	粘着引張力	石炭×水	設計主任
B20	1945	15	0B0	860	20.3	10.86	300×400	13.0	3190	5075	0.9t×2.5m ³	設計委員会
C10	1930	23	1C2	1520	37.8	12.90	450×610	15.0	10300	9450	3.0t×7.0m ³	島 秀雄
C11	1932	381	1C2	1520	37.0	12.40	450×610	15.0	10300	9250	3.0t×6.8m ³	島 秀雄
C12	1932	282	1C1	1400	32.0	10.00	400×610	14.0	8300	8000	1.5t×5.5m ³	島 秀雄
E10	1948	5	1E2	1250	70.5	14.20	550×660	16.0	21700	17625	4.0t×8.0m ³	衣笠敦雄
7100	1880	8	1C	914	13.9	4.90	305×406	7.7	2700	3475	1.5t×3.6m ³	Porter
8620	1914	687	1C0	1600	39.8	14.35	470×610	13.0	9300	9950	6.0t×13.0m ³	津田鑄雄
9600	1913	770	1D0	1260	52.7	13.41	508×610	13.0	13900	13125	6.0t×13.0m ³	朝倉希一
C50	1929	146	1C0	1600	43.4	14.45	470×610	14.0	10000	10850	6.0t×13.0m ³	徳永晋作
C51	1919	281	2C1	1750	44.6	14.61	530×660	13.0	11600	11150	8.0t×17.0m ³	朝倉希一
C52	1925	6	2C1	1600	47.7	16.70	450×660	13.0	14800	11925	8.4t×20.0m ³	Alco
C53	1928	97	2C1	1750	46.3	15.44	450×660	14.0	13500	11575	12.0t×17.0m ³	伊東三枝
C54	1932	17	2C1	1750	40.3	13.42	510×660	14.0	11600	10075	12.0t×17.0m ³	島 秀雄
C55	1935	62	2C1	1750	40.7	13.62	510×660	14.0	11600	10175	12.0t×17.0m ³	島 秀雄
C56	1935	160	1C0	1400	31.8	10.56	400×610	14.0	8300	7950	5.0t×10.0m ³	島 秀雄
C57	1937	201	2C1	1750	41.3	13.96	500×660	16.0	12800	10325	12.0t×17.0m ³	島 秀雄
C58	1938	427	2C1	1520	40.5	13.50	480×610	16.0	12500	10125	6.0t×17.0m ³	細川泉一郎
C59	1941	173	2C1	1750	48.5	16.17	520×660	16.0	13800	12125	10.0t×25.0m ³	北島顕正
C60	1953	47	2C2	1750	44.8	15.00	520×660	16.0	13800	11200	10.0t×25.0m ³	高桑五六
C61	1948	33	2C2	1750	41.1	13.70	500×660	15.0	12000	10275	10.0t×17.0m ³	衣笠敦雄
C62	1948	30	2C2	1750	48.2	16.08	520×660	16.0	13800	12050	10.0t×22.0m ³	衣笠敦雄
C62 <small>軽</small>	1948	19	2C2	1750	44.8	14.96	500×660	16.0	12800	11200	10.0t×22.0m ³	衣笠敦雄
D50	1923	380	1D1	1400	58.8	15.0	570×660	13.0	16800	14700	8.0t×20.0m ³	小笠原藤吉
D51	1936	1115	1D1	1400	59.6	15.0	550×660	15.0	17100	14900	8.0t×20.0m ³	島 秀雄
D52	1943	285	1D1	1400	66.3	16.6	550×660	16.0	19400	16600	10.0t×22.0m ³	北島顕正
D60	1951	78	1D2	1400	54.7	13.8	550×660	13.0	15600	13700	12.0t×17.0m ³	高桑五六
D61	1959	6	1D2	1400	54.7	13.8	550×660	15.0	18100	14800	8.0t×20.0m ³	高桑五六
D62	1980	20	1D2	1400	59.1	15.0	530×660	16.0	18000	14800	10.0t×22.0m ³	衣笠敦雄

参考文献

- 1) 臼井茂信, 国鉄蒸気機関車小史, 鉄道図書刊行会, 1961
- 2) 荒井文治, 臼井茂信, 村田肇, 機関車ガイドブック, 誠文堂新光社, 1963
- 3) 久保田博, 追憶の蒸気機関車, グランプリ出版, 2002

最後までお読み頂き、ありがとうございました。ご意見・ご感想は jfurukawa@apost.plala.or.jp までお寄せください。