

自動化ヤードの構造に関する二、三の問題

1967 1 盛工 仙台工事事務所

斉藤 政治

§ まえがき

現在盛岡工事局において施工中の郡山操車場は、全国にはじめての自動化ヤードとして築足すべく種々準備を進めているが、自動化に必要な諸種の試験も基本的事項に付いては大略完了している。これらのデータを用い、今後の自動化ヤード設計上問題となる点を二、三述べてみたい。

自動化ヤードのシステムを簡単に述べると

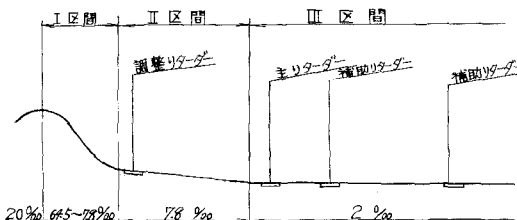
- (1) 分解作業における貨車速度の自動制御
- (2) 情報処理機構の自動化
- (3) 組成作業における矢羽根配線の採用

かその主要な点であつて、貨車速度の自動制御については、従来ハンブヤードに用いられているカーリターゲターのほかに自動化に必要な各種計測機器、及び仕訳線に配置される補助リターゲター並びにヤード制御用デジタル型電子計算機(YAC)を備えつけている。

ここでは貨車速度の自動制御に関連する事項について取り上げたもので、これは自動化ヤードの設計において最も重要な事柄でもある。

§2 貨車走行抵抗について

自動化ヤードの設計に当っては貨車走行抵抗を予測することが基本的な事柄で、比較的低速度すなわち 25km/h 以内における貨車の走行抵抗を確立しなければならぬ。



国鉄内においては古くから貨車走行抵抗の

実験が行われているが、貨車の種別が余りに多いこと、試験の方法に問題があること、気象条件の影響が大きいこと、成果の利用範囲が割合に狭いこと、或は、軌道構造の変せん等によつて、自動化ヤードにそのまま適用することが困難であつた。

今回提示する走行抵抗汎用式は昨年1月からの郡山操車場における冬期試験及び、7月からの静岡操車場における夏期試験により、系統づけられたもので、鉄道技術研究所の研究報告 No. 559 (Nov. 1966) によつたものである。

1. 走行抵抗汎用式 (鉄道技術研究報告 No. 559. Nov. 1966)

2 軸貨車

$$R(V) = (0.7K + 0.25) e^{-\frac{V}{30}} + 0.1V + 0.00212 \left(\frac{S_1}{1 + \theta S_2} \right) V^2 \text{----- (1)}$$

4 軸貨車

$$R(V) = (0.7K + 0.275) e^{-\frac{V}{30}} + 0.133V + 0.00106 \left(\frac{S_1}{1 + \theta S_2} \right) V^2 \text{----- (2)}$$

上式で

$R(V)$: 貨車走行抵抗 (kg/t)

K : 軌道係数

50 N	-----0.99
50 PS	-----1.00
40 N	-----1.20
37 ASCE	-----1.40
30 "	-----1.62

S₁, S₂ : 貨車種別による常数

車	種	S ₁	S ₂
有蓋車	2軸車	1.5	1.0
	4軸車	1.6	1.5
無蓋車	2軸車	1.0	2.0
	4軸車	1.0	2.0

t : 外気温 ----- 夏 30°C 冬 0°C

θ : 積空の状態を表わす係数 { ex. 積車 θ=1
半積車 θ=0.5
空車 θ=0 }

V : 車速 (km/H)

分散

$$\sigma = H \cdot R(V) \text{ ----- (3)}$$

上式で

σ : 分散

H : 常数 (=0.196)

2. 走行抵抗の特性及び式運用上の注意

1. 積空の状態は第1項、第2項には無関係
2. 車両形式も第1項、第2項には無関係
3. 温度差による抵抗差は常数で(第1項のみ)車両速度に無関係
4. 軌道構造による走行抵抗は、第1項、第2項のみに関係し、第3項には無関係
5. 軌道或は、車両の不整による走行抵抗のバラツキ、並びに測定誤差等は、平均値に附加して分散の中を含める。
6. 風速は車両走行方向のコンポーネントで表わし、何風の場合は車速+風速を第3項のVに入れればよいが、逆風の場合は風速と車速の差が、正又は負によつて第3項の符号が変わることに注意すること。
7. 速度の単位は km/H であるから、特に風速は同単位に換算することに注意。

3. 40N レール走行抵抗の算出

走行抵抗汎用式はその名の如く、レール種別はどうか、気温すなわち冬の夏か、どんな車か、積車が空車かなどによつて如何ようにも算出出来るのであるが、郡山ヤードでは40N レールの使用が大部分であるので、40N レールに対する走行抵抗を下記区分により算出してみた。

以上各條件に適合する抵抗式は後述するが、算出の1例として

2軸車、冬の有蓋車に於て示せば次の通りである。

$$\text{第1項: } (0.7 \times 1.2 + 0.25) e^{-\frac{0}{30}} = 1.09 \times e^{-0} = 1.09$$

$$\text{第2項: } 0.100$$

第3項: 積車 (θ=1.0) の場合

$$0.00212 \times \frac{1.5}{1+1 \times 1.0} = 0.00212 \times 0.75 = 0.00159$$

すなわち

$$R(V) = 1.090 + 0.100V + 0.00159V^2 \text{ ----- (4)}$$

次に分散σは

	冬	夏	分散
二軸車	有蓋積車	同上	σ=0
	" 空車	"	σ=2
	無蓋積車	"	
	" 空車	"	
四軸車	有蓋積車	"	同上
	" 空車	"	
	無蓋積車	"	
	" 空車	"	

第1項: $1.09 \times 0.196 = 0.21364$

第2項: $0.10 \times 0.196 = 0.0196$

第3項: $0.00159 \times 0.196 = 0.000312$

すなわち

$$\left. \begin{aligned} 1. \sigma &= 0.21364 + 0.0196 V + 0.000312 V^2 \\ 2. \sigma &= 0.42728 + 0.0392 V + 0.000623 V^2 \end{aligned} \right\} \text{----- (5)}$$

空車 ($\sigma = 0$)

$$0.00212 \times \frac{1.5}{1+0 \times 1.0} = 0.00212 \times 1.5 = 0.00318$$

すなわち

$$R(V) = 1.090 + 0.100 V + 0.00318 V^2 \text{----- (6)}$$

分散 σ は

$$\left. \begin{aligned} 1. \sigma &= 0.21364 + 0.0196 V + 0.000623 V^2 \\ 2. \sigma &= 0.42728 + 0.0392 V + 0.001246 V^2 \end{aligned} \right\} \text{----- (7)}$$

この他のものについても同一手順で計算し、一括して表に示せば次表のとおりとなる。また最終ページに図表も示しておいた。

40 Nレールに対する走行抵抗式

§3 仕訳線内における貨車の速度制御

1. 仕訳線内における貨車の運動
あるこう配をもった仕訳線上を走行する貨車の運動は、次式をもって表はすことが出来る。

$$\frac{dv}{dt} = g' \times 10^{-3} [G(\delta) - R(u)] \text{--- (8)}$$

g' : 車両回転部分慣性で修正した重力加速度 (m/sec^2)

v : 貨車速度 (m/sec)

t : 時間 (Sec)

$G(\delta)$: 勾配 (%)

$R(u)$: 走行抵抗 (kg/ton)

仕訳線内を走行する貨車は、勾配による加速力と、走行抵抗による減速力をうけて運動する。

(8)式を变形して

$$\frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = g' \times 10^{-3} [G(\delta) - R(u)]$$

$$\frac{dv}{ds} \cdot v = g' \times 10^{-3} [G(\delta) - R(u)]$$

	冬	夏
二 車 軸	有蓋車(積車) $1.090 + 0.100 V + 0.00159 V^2$ $1. \sigma = 0.21364 + 0.0196 V + 0.00031 V^2$ $2. \sigma = 0.42728 + 0.0392 V + 0.00062 V^2$	$0.40099 + 0.100 V + 0.00159 V^2$ $1. \sigma = 0.07859 + 0.0196 V + 0.00031 V^2$ $2. \sigma = 0.15719 + 0.0392 V + 0.00062 V^2$
	有蓋車(空車) $1.090 + 0.100 V + 0.00318 V^2$ $1. \sigma = 0.21364 + 0.0196 V + 0.00062 V^2$ $2. \sigma = 0.42728 + 0.0392 V + 0.00125 V^2$	$0.40099 + 0.100 V + 0.00318 V^2$ $1. \sigma = 0.07859 + 0.0196 V + 0.00062 V^2$ $2. \sigma = 0.15719 + 0.0392 V + 0.00125 V^2$
	無蓋車(積車) $1.090 + 0.100 V + 0.00071 V^2$ $1. \sigma = 0.21364 + 0.0196 V + 0.00014 V^2$ $2. \sigma = 0.42728 + 0.0392 V + 0.00028 V^2$	$0.40099 + 0.100 V + 0.00071 V^2$ $1. \sigma = 0.07859 + 0.0196 V + 0.00014 V^2$ $2. \sigma = 0.15719 + 0.0392 V + 0.00028 V^2$
	無蓋車(空車) $1.090 + 0.100 V + 0.00212 V^2$ $1. \sigma = 0.21364 + 0.0196 V + 0.00042 V^2$ $2. \sigma = 0.42728 + 0.0392 V + 0.00083 V^2$	$0.40099 + 0.100 V + 0.00212 V^2$ $1. \sigma = 0.07859 + 0.0196 V + 0.00042 V^2$ $2. \sigma = 0.15719 + 0.0392 V + 0.00083 V^2$
四 車 軸	有蓋車(積車) $1.115 + 0.133 V + 0.00068 V^2$ $1. \sigma = 0.21854 + 0.02607 V + 0.00013 V^2$ $2. \sigma = 0.43708 + 0.05214 V + 0.00027 V^2$	$0.410186 + 0.133 V + 0.00068 V^2$ $1. \sigma = 0.08040 + 0.02607 V + 0.00013 V^2$ $2. \sigma = 0.16079 + 0.05214 V + 0.00027 V^2$
	有蓋車(空車) $1.115 + 0.133 V + 0.00170 V^2$ $1. \sigma = 0.21854 + 0.02607 V + 0.00033 V^2$ $2. \sigma = 0.43708 + 0.05214 V + 0.00067 V^2$	$0.410186 + 0.133 V + 0.00170 V^2$ $1. \sigma = 0.08040 + 0.02607 V + 0.00033 V^2$ $2. \sigma = 0.16079 + 0.05214 V + 0.00067 V^2$
	無蓋車(積車) $1.115 + 0.133 V + 0.00035 V^2$ $1. \sigma = 0.21854 + 0.02607 V + 0.00007 V^2$ $2. \sigma = 0.43708 + 0.05214 V + 0.00014 V^2$	$0.410186 + 0.133 V + 0.00035 V^2$ $1. \sigma = 0.08040 + 0.02607 V + 0.00007 V^2$ $2. \sigma = 0.16079 + 0.05214 V + 0.00014 V^2$
	無蓋車(空車) $1.115 + 0.133 V + 0.00106 V^2$ $1. \sigma = 0.21854 + 0.02607 V + 0.00021 V^2$ $2. \sigma = 0.43708 + 0.05214 V + 0.00042 V^2$	$0.410186 + 0.133 V + 0.00106 V^2$ $1. \sigma = 0.08040 + 0.02607 V + 0.00021 V^2$ $2. \sigma = 0.16079 + 0.05214 V + 0.00042 V^2$

$$ds = \frac{1}{g'} \frac{v}{10^{-3} \times [G(\delta) - R(u)]} dv$$

故に走行距離 S は

$$S = \frac{10^3}{g^3} \int \frac{v}{[q(\delta) - R(v)]} dv \text{ ----- (9)}$$

(7)式を解を求めるため

$$R(v) = a + bv + cv^2 \quad \text{及び} \quad q(\delta) = i \quad \text{とおけば}$$

$$q(\delta) - R(v) = i - a - bv - cv^2 = -(a - i + bv + cv^2)$$

$$a - i = a' \text{ とすれば} \quad \text{右辺} = -(a' + bv + cv^2)$$

以上をまとめ

$$S = -\frac{10^3}{g^3} \int \frac{v}{a' + bv + cv^2} dv \quad \text{となる} \quad \text{いま} \quad a' + bv + cv^2 = 0 \text{ の2根を} \alpha, \beta \text{ とすれば}$$

その解は

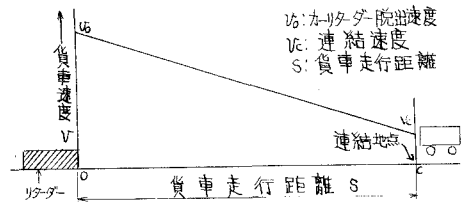
$$S = -\frac{10^3}{g^3} \cdot \frac{1}{2c} \left[\log(a' + bv + cv^2) - \frac{b}{c(\alpha - \beta)} \log \frac{v - \alpha}{v - \beta} \right] + C \text{ ----- (10)} \quad \text{左式で} C \text{ は積分常数}$$

すなわち、(10)式が仕訳線内における速度制御の基本式となる。

2. 貨車の速度制御

(1) 脱出速度目標値の計算

右図において O 点をリターダ終点、 C 点を貨車連結地点、この間の貨車走行距離を S とすれば、連結地点における貨車の安全連結速度 $(5 \pm 2) \text{ km/h}$ として、この速度範囲になるようリターダの脱出速度を求めることである。



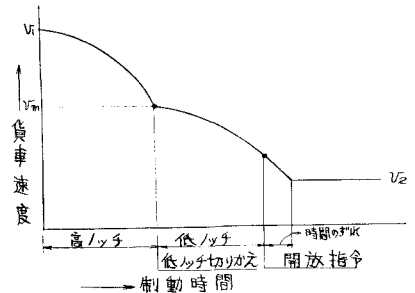
すなわち、(10)式において、連結地点までの距離 S はフルネス測定装置の出力によって求められる。また、貨車重量、風向、風速、温度、などを実測によってあたえ、以上の条件に見合う(3)式の a' 、 b 、 c の諸係数を計算機内に記憶させたものから選ぶ。

以上二つのデータから脱出速度の目標値を計算する。

(2) 主リターダの制御

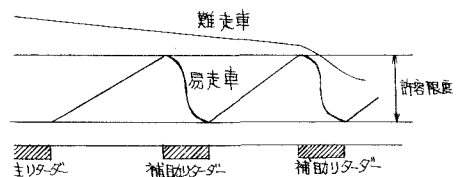
ハンプから転走された当該貨車がリターダ内に入り減速されて脱出速度の目標値に達したならば、リターダを開放し、制動をやめる。

実際の制動方法は、当初高ノッチで減速させ、中速度に落ちたなら低ノッチに切りかえて減速の状態を緩め、目標速度に達するよりやや早めに開放指令を出して、開放するまでの時間的ずれを補っている。



(3) 補助リターダの制御

仕訳線には、二つの補助リターダを配置して速度制御するのであるが、郡山操において試験の結果性能は良好で、13 km/h 程度で進入した貨車を停止させる能力を有し且つ制御誤差も 0.7 km/h まで向上しうることが確認された。主リターダ脱出後の貨車の速度は右図のようになる。



§4. 仕訳線勾配と補助リターダ-の配置

1. 仕訳線勾配

仕訳線勾配を決定する絶対的要素は貨車を途中停止させないということである。しかしこの問題は難走車についていることで、易走車の場合はレベルでなり限り下り勾配では加速され、後述の補助リターダ-の配置に大いに関係することがわかる。

先づ後段にはふれず仕訳線勾配について難走車の代表車を考え、検討を加えることにする。

(1). 冬逆風5.0mの難走車の計算

2%勾配について走行抵抗式より代表車として、有蓋2軸空車をとり上げてみる。

$$\text{すなわち } R(u) = 1.090 + 0.100V + 0.00318V^2$$

(1). 平均走行抵抗 ($\delta = 0$)

仕訳線入口附近の速度を $V = 20 \text{ km/H}$ とする。連結するための最低速度を 3 km/H とすれば、貨車の転走距離 S は次によって求まる。

走行抵抗基本式に風速を加味すれば

$$R(u) = 1.090 + 0.100V + 0.00318 \times (V + 18)^2$$

$$\text{すなわち } R(u) = 2.12 + 0.214V + 0.00318V^2 \text{ ----- (11)}$$

$i = 2.0\%$ とすれば (10) 式において

$$\alpha' = \alpha - i = 2.12 - 2.0 = 0.12$$

$$0.12 + 0.214V + 0.00318V^2 = 0 \quad \text{とおいて}$$

$$\alpha = \frac{-0.214 \pm \sqrt{0.214^2 - 4 \times 0.12 \times 0.00318}}{2 \times 0.00318} = \frac{-0.003}{0.00636} = -0.471$$

$$\beta = \frac{-0.425}{0.00636} = -66.9$$

$$g' = 8.86 \text{ m/sec}^2 = 8.86 \times 3.6^2 / \text{H}^2 = 115.2 \text{ km/H}^2$$

$$S = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{2 \times 0.00318} \left[\log (0.12 + 0.214V + 0.00318V^2) - \frac{0.214}{0.00318(-0.471 + 66.9)} \log \frac{V + 0.471}{V + 66.9} \right] + C$$

境界条件として、 $S = 0$ で $V = 20 \text{ km/H}$ を入れて C を求めると

$$0 = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{0.0064} \left[2.3 \times \log (0.12 + 4.28 + 1.272) - \frac{0.214}{0.00318 \times 66.429} \times 2.3 \times \log_{10} \frac{20.471}{66.9} \right] + C$$

$$0 = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.833}{0.0064} + C \quad 0 = -4380 + C \quad \therefore C = 4380$$

積分定数 $C = 4380$ を前式にあてはめ、 $V = 3.0 \text{ km/H}$ のときの S を求めると

$$S = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{2 \times 0.00318} \left[\log (0.12 + 0.642 + 0.0286) - \frac{0.214}{0.00318(-0.471 + 66.9)} \times \log \frac{3.471}{66.9} \right] + 4380$$

$$= -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{2.802}{0.0064} + 4.380 = 590 \text{ m}$$

(1). 分散(2%)を考えた場合

走行抵抗基本式 $R(u) = 1.090 + 0.100V + 0.00318V^2$ に分散(2%)すなわち $\Delta R(u) = 0.42728 + 0.0392V + 0.00125V^2$ を考慮に入れ込む場合、悪条件のプラス側とすれば

$$R(u)_{2\%} = 1.51728 + 0.1392V + 0.00443V^2$$

風速 $5 \text{ m/sec} = 18 \text{ km/H}$ を入れて

$$R(u)_{2\%w} = 1.51728 + 0.1392V + 0.00443(V + 18)^2 = 2.95 + 0.298V + 0.00443V^2 \text{ ----- (12)}$$

$$i = 2.0\%$$

$$\alpha' = \alpha - i = 2.95 - 2.0 = 0.95$$

$$0.95 + 0.298V + 0.00443V^2 = 0$$

$$\alpha = \frac{-0.298 \pm \sqrt{0.298^2 - 4 \times 0.00443 \times 0.95}}{2 \times 0.00443} = \frac{-0.03}{0.00886} = -3.39$$

$$\beta = -\frac{0.566}{0.00886} = -63.9$$

積分常数Cを求めるため、 $V = 20 \text{ km/h}$ で $S = 0$ とし

$$0 = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{0.00886} \left[\log(0.95 + 0.298 \times 20 + 0.00443 \times 20^2) - \frac{0.298}{0.00443 \times (-3.39 + 63.9)} \times \log \frac{23.39}{83.9} \right]$$

$$+ C = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.571}{0.00886} + C$$

$$C = 3500$$

$$S = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{2 \times 0.00443} \left[\log(0.95 + 0.298 \times 3 + 0.00443 \times 3^2) - \frac{0.298}{0.00443 \times (-3.39 + 63.9)} \times \log \frac{6.39}{66.9} \right] + 3500$$

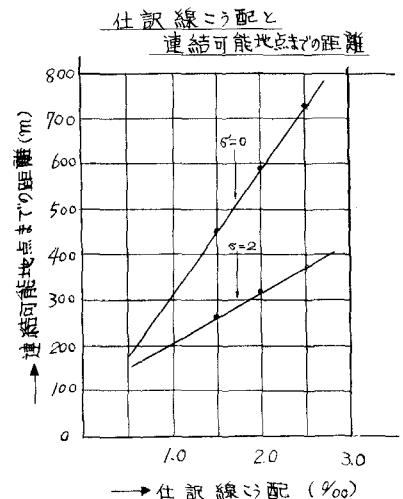
$$S = -\frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.243}{0.00886} + 3500 = -3180 + 3500 = 320 \text{ m}$$

(2) 仕訳線勾配と連結可能地点までの距離

以上の計算を2.5%及び1.5%勾配について同一手順にて計算し、連結可能地点までの距離をまとめれば次表を得る。

こうばい (%)	分散 σ	連結可能点までの距離(m)
1.5	$\sigma = 0$	450
	$\sigma = 2$	260
2.0	$\sigma = 0$	590
	$\sigma = 2$	320
2.5	$\sigma = 0$	730
	$\sigma = 2$	370

また以上の数字を図表で表わせば右図の通りである。



2. 自動制御と仕訳線勾配

速度範囲は $1.7 \text{ km/h} \sim 7.0 \text{ km/h}$ を考える。従って追風 5.0 m/sec を考えた場合第3項は $(V - V_m)$ が項になるため、第3項の係数の大きい走行抵抗値を考えればよい。

すなわち夏期のZ軸車空車を代表車とすると、 $R(v)$ は

$$R(v) = 0.40099 + 0.100V + 0.00318V^2$$

追風 5.0 m/sec をとった場合

$$R(v)_{w=5} = 0.40099 + 0.100V - 0.00318(V - 18)^2 = 0.40099 + 0.100V - 0.00318(V^2 - 36V + 324)$$

$$= 0.40099 + 0.100V - 0.00318V^2 + 0.114V - 1.03 = -0.629 + 0.214V - 0.00318V^2 \text{ ----- (13)}$$

補助リタター-脱出速度を 1.7 km/h とした場合、 7 km/h になる点までの距離Sを求める。

(1) 夏期追風 5.0 m の易走車の計算 $i = 2.0\%$ について計算をすれば

(1). 平均走行抵抗の場合

$$a' = a - i = -0.629 - 2.0 = -2.629$$

$$-2.629 + 0.214V - 0.00318V^2 = 0 \text{ より } 2.629 - 0.214V + 0.00318V^2 = 0 \text{ とおいて}$$

$$\alpha = \frac{0.214 \pm \sqrt{0.214^2 - 4 \times 0.00318 \times 2.629}}{2 \times 0.00318} = \frac{0.325}{0.00636} = 51.1$$

$$\beta = \frac{0.103}{0.00636} = 16.2$$

積分常数Cは $S = 0$ で $V = 1.7 \text{ km/h}$

$$0 = \frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{0.00636} \left[\log(2.629 - 0.214 \times 1.7 + 0.00318 \times 1.7^2) + \frac{0.214}{0.00318 \times (51.1 - 16.2)} \log \frac{1.7 - 51.1}{1.7 - 16.2} \right] + C$$

$$= \frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.212}{0.00636} + C = 4370 + C \quad \therefore C = -4370$$

$$S = \frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{2 \times 0.00318} [\log (2.629 - 0.214 \times 7 + 0.00318 \times 7^2) + \frac{0.214}{0.00318 \times 34.9} \log \frac{7-5.1}{7-16.2}] - 4370$$

$$= 4510 - 4370 = 140 \text{ m}$$

(ロ)、2.0の分散を考えた場合

$$\Delta R(V) = 0.15719 + 0.0392 V + 0.00125 V^2 \text{ より}$$

$$R(V)_{2.0, w=5} = -0.786 + 0.175 V - 0.00193 V^2 \quad (14)$$

$$\alpha' = \alpha - \alpha' = -0.786 - 2.0 = -2.786 \quad 2.786 - 0.175 V + 0.00193 V^2 = 0$$

$$\alpha = \frac{0.175 + \sqrt{0.175^2 - 4 \times 0.00193 \times 2.786}}{2 \times 0.00193} = \frac{0.271}{0.00386} = 70.1$$

$$\beta = \frac{0.175 - 0.096}{0.00386} = \frac{0.079}{20.5}$$

積分常数Cは $S=0$ で $V=1.7 \text{ km/h}$

$$0 = \frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{2 \times 0.00193} [\log (2.786 - 0.175 \times 1.7 + 0.00193 \times 1.7^2) + \frac{0.175}{0.00193 \times 49.6} \log \frac{1.7-70.1}{1.7-18.8}] + C$$

$$= \frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.314}{0.00386} + C \quad \therefore C = 7460$$

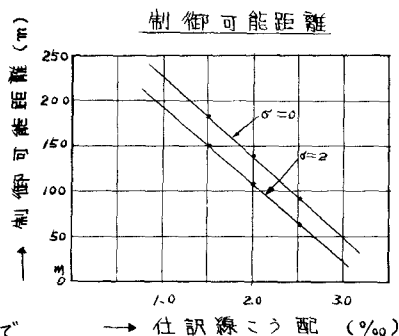
$$S = \frac{10^3}{115.2} \times \frac{1}{0.00386} \log (2.786 - 0.175 \times 7 + 0.00193 \times 7^2) + 1.86 \log \frac{7-70.1}{7-20.5} - 7460$$

$$= \frac{10^3}{115.2} \times \frac{3.364}{0.00386} - 7460 = 110 \text{ m}$$

(2)、仕訳線こう配と制御可能距離との関係

以上の計算を2.5%及び1.5%のこう配についても同一手順で計算し、制御可能距離との関係をまとめると次表を得る。

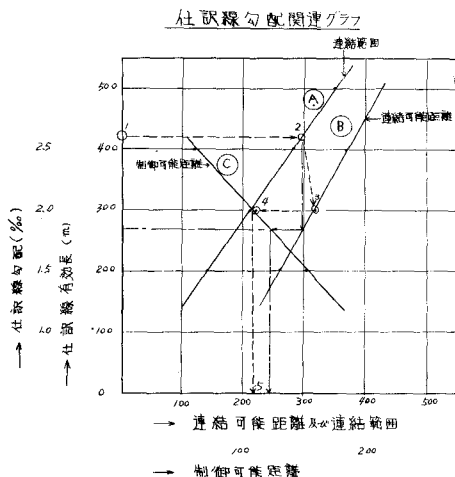
こう配(%)	分散	制御可能距離(m)
1.5	$\sigma=0$	180
	$\sigma=2$	150
2.0	$\sigma=0$	140
	$\sigma=2$	110
2.5	$\sigma=0$	90
	$\sigma=2$	60



3、連結並びに制御のバランスのとれた仕訳線勾配

以上述べた通り難走車に対しては出来るだけ仕訳線の奥まで到達させ、易走車に対しては補助リターダーによる速度制御可能範囲を出来るだけ長くとれるような勾配はどれがよいか、という問題になるが、ここに両者バランスのとれた勾配決定の方法として、上記計算値にもとづき右図の如き関連グラフを製作し、検討してみることにする。

先ず仕訳線の連結所要範囲について経験的に総有効長の3/5(3は組成に使用される)とされている。郡山操車場に例をとれば、平均有効長は420mであるから、図表の点線の番号1に420mをとり、水平に2において④線(連結範囲)に交わり、この配は2%で施工しているので、③線と3の点で、⑤線で4.制御可能距離で5と交わる。以上のことは



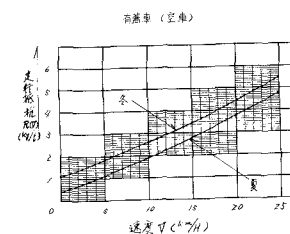
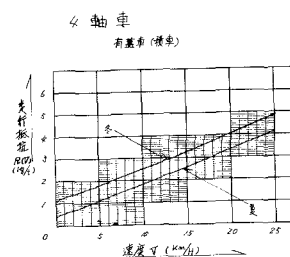
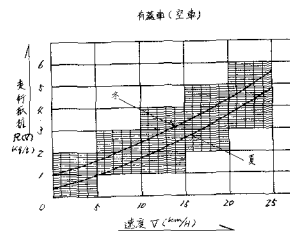
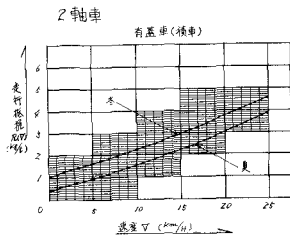
仕訳線有効長	420 m
" 連結範囲	300 m X
" こう配	2 %
" 連結可能距離	320 m X
" 制御可能距離	110 m

を意味するもので、X印がアンバランスになっている。これを修正するため図表の鎖線のようになれば

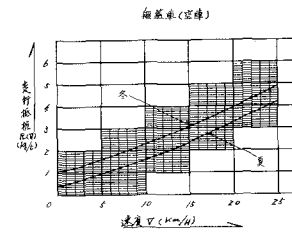
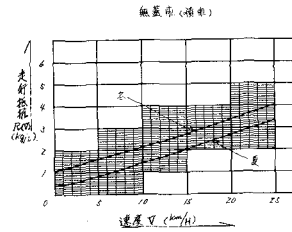
仕訳線有効長	420 m
" 連結範囲	300 m
" 連結可能距離	300 m
" こう配	1.8 %
" 制御可能距離	125 m

すなわち最適こう配は1.8%程度で、補助リタダーの間隔は120mとしても充分であることがわかる。

貨車走行抵抗図 (40"レール)



2軸車



4軸車

