

デジタル計算機による列車運転のシミュレーション*

稲 田 伸 一**

1. 緒 論

動力車の性能は設計によって決定されるが、客車や貨車を牽引して特定の線区を走る列車の場合には牽引される車両の性能や線区の条件で、列車の性能は大幅に変動する。また逆に特定の線区を走るための条件に適合し、運転費用が最小になるような動力車の性能が把握できれば、動力車を設計する場合に多くの利益が得られるであろう。与えられた動力車の特性と客貨車の走行抵抗および線路の勾配や速度制限を用いて、列車の運行（速度、時間、距離の相互関係）や、その運行の下における電力、モーターの温度上昇などは実際のダイヤの編成または変電所の配置、モーターの設計という点からそれぞれの担当部門で計算が行われてきた。

この計算はどの一つを取っても非線型微分方程式を解くということに帰着される。これまでは図式計算法を用いたり、また一部には簡単な計算器具を用いてこの要求を満たしてきたが、いずれにしてもこれは膨大で単調な仕事である。この計算を電子計算機で行わせようという試みは諸外国でも計画され、専用の電子計算機を試作したり、また万能型のデジタル計算機を用いて計算を行ったという報告も出ている。^{1,2,3,4,5)}

わが国でもこの計算を目的とした専用の電子管式アナログ計算機はほぼ実用の域に達し⁶⁾担当部門でもこれを用いているいろいろの計算を行って良い結果を得ている。専用の計算機であるから使用方法も簡単で、結果がグラフの上に曲線として現れるので直観的であるなど種々すぐれた点はあるが、計算が全自動的に行えるわけではなく、計算中に人間が若干の判断を加えてやらねばならないので、必然的に計算速度が落ちてくる。これを全自動的に行うことは不可能ではないが、アナログ計算機では装置が膨大になりすぎて実際的ではないし、また現在の段階では温度上昇等の計算機構もつ

いていない。以上のような点から万能のデジタル計算機を用いてこの計算を行いたいという要求があったので、この問題を検討することにした。

2. 列車運転系の基本的解析

ここで対象とする列車のシミュレーションは、大別すると二つの部分に分けられる。一つは列車の力学的運動に関するもので、他の一つは動力車の電気的性能（2乗平均電流、消費電力、アマチュアの温度上昇等）に関するものである。力学的運動は加速度を与えて時間、速度、距離の関係を求めるニュートン力学から正確に求める部分と、加速度をどのように与えるかという運転固有の問題とに分けられる。列車の運転のシミュレーションにおいて最も問題になるのが、この加速度の与え方で、これは先験的に与え得るものではなく、列車の性能、線路の条件および束縛条件に依存している。この部分の解析如何によって計算方式が全く変わってくる。以下三つの部分に分けて検討する。

2・1 列車の運動方程式

列車を解析してみると、重量を持った車両が連結器でつながれて線上に分布して、勾配線路上を運動するわけであるから、物理的に厳密な議論をすれば鎖の運動に近似したものになるわけである。しかし勾配区間の長さは列車長に比して相当長いし、また我々の必要としているのは各点における厳密な列車の運動状態のカーブではなく、ある区間を運動した時の最終速度、最終時間なのであって、加うるに勾配の変化点の前後の影響は互に打ち消し合う方向にある。またこれまでの図計算の経験からも列車の運動は、列車を質点として扱って充分目的を達することがわかっているので、ここでもこの仮定を全面的に採用した。

$$W(1+\gamma)\frac{dv}{dt} = T - R + G - B \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{ds}{dt} = v \dots\dots\dots(2)$$

W: 列車総重量
R: 制動力
 γ : 回転部分による補正項
t: 時間
T: 全引張力
v: 速度

* The Simulation of Train Performance by means of Digital Computer by Shinichi Inada

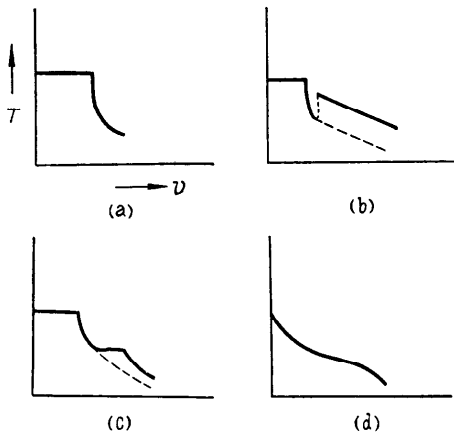
** 鉄道技術研究所

R: 走行抵抗 s: 距離
G: 勾配により受ける力

(1), (2) 式はニュートンの運動方程式から導かれる。右辺の関数が簡単なものであれば正確に解けるが、実際には右辺が v や s の非線型関数、特にその関数の微係数が不連続であるような非線型関数である。したがってこの式を解くためには数値積分か図式解法によらねばならない。この式で右辺の各関数をどのように近似するかが問題になる。

1. 引張力近似式

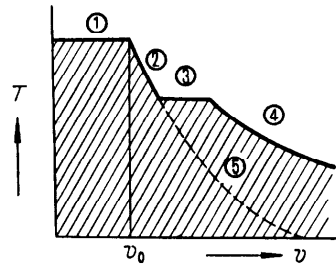
引張力を表現するには二通りの方法がある。一つは電流に対して引張力を表現する方法であるが、対象が電気車ばかりでない時にはこの表現法は使用できない。もう一つの表現法は、列車速度に対して引張力を表す方法である。これの一番大きな欠点は実際には速度だけで、一意的に引張力が表せないことで、実は速度とノッチ位置によって定まるものである。しかし電車の場合は限流継電器によってノッチ段階が自動的に定められて、速度に対する一価関数と見なして差支えない。電気機関車や蒸気機関車においても速度によって一意的にきまるようなノッチあるいは弁操作を行うわけである。これはある程度の不確定さがあっても、平均的には一定の引張力曲線を与えることができる。



第1図 引張力曲線の4形式

動力車の引張力特性は一般に第1図 (a), (b), (c), (d) で示されるようなものである。(a)は蒸気車, (b)は一般に弱界磁の電気車, (c)は一般の電気車, (d)は液圧式のディーゼル車に対するものである。最も複雑な曲線第一図(c)を一般的なものとして近似方法を考える。曲線の一部は割合に単調な形をしており、

横軸の区間も短いので曲線の物理的性質を無視し、この曲線を与えられた実験曲線の如く扱って、多項式近似を採用した(実際は2次式として近似した)(第2図)。



第2図 代表的な引張力曲線

$$\left. \begin{array}{l} \text{①の区間に対して } T = T_0(\text{const}) \\ \text{②③④⑤に対して } T = A_i + B_i(v-v_0) \\ \qquad \qquad \qquad + c_i(v-v)^2 \end{array} \right\} \quad (3)$$

ただし $i=2, 3, 4, 5$

①は粘着引張力と称せられる区間で車輪と線路の摩擦係数によってきまり、動力車の特性には影響されず速度に対して一定である。

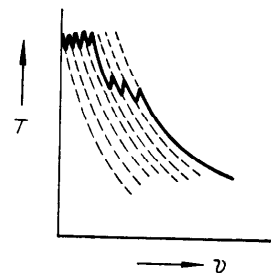
②全界磁特性引張力の領域(モーター特性によって影響される部分)。

③渡り(全界磁から弱界磁への移行部分)

④弱界磁特性引張力領域

⑤全界磁特性引張力の補助部分

これらの曲線のうち、①、③は第3図に示すような



第3図 精密な引張力曲線

鋸歯状曲線の平均的な値をとったものである。ここで v_0 だけ横軸をずらせたのは、係数 A_i, B_i, C_i のうち、特に A_i が計算機の scale を越えないようにするための考慮である。直流車では全ノッチ段階が長時間使用に耐えるものでなく、安定に使用できるのは直列抵抗を全部抜いた全界磁と弱界磁だけである(直列全界

磁、直並列全界磁という安定な状態もあるが、特殊な場合を除いてはこのノッチは使用しないので、ここでは除外する)。したがって直流車では第2図(第3図)の実線上だけが可能である。これに対して交流車、ディーゼル車などは安定なノッチ段階が多く細かであるから第2図斜線の領域、すなわち与えられた速度-引張り曲線下の全ての領域が可能な状態であると仮定する。直流車両においてもこの条件は大きな誤差を生ずるものではないと思う。

2. 走行抵抗近似式

Davisの近似式を採用する。これは係数を実験的に定めれば、実際ともよく合う式で、速度の2次式として示されている。この場合動力車の車に対しては力行時と惰行時で係数が異なる。

$$\left. \begin{aligned} R_p &= A_p + B_p v + C_p v^2 \quad (\text{力行時}) \\ R_c &= A_c + B_c v + C_c v^2 \quad (\text{惰行時}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

3. 勾配抵抗近似式

勾配により生ずる加速度である。これは線路条件により与えられる。勾配による加速度は勾配量が変化する点でのみ変化を受け、他の所では一定である。したがって現在列車が走行している位置のみによってきまる(速度に無関係な)ステップ関数として与えることができる。一般に勾配は千分率で表わされているので、力は次式で与えられる。

$$G = \frac{G'}{1000} \times g \times W \quad (5)$$

G' : 千分率で表わした勾配
 g : 重力加速度 (980 cm/sec²)

曲線抵抗は相当小さな値なので通常はあまり問題にならないから省略するが、この影響を問題にする時は勾配量に換算して挿入すればよい。

4. 制動減加速度

制動には装置的にみて種々のもの(電気ブレーキ、空気ブレーキなど)があり、それぞれ特性も異なり複雑な式になるが、運転上制動扱者は減加速度が一定になるようにノッチより空気圧力を制御しているので、ここでは減加速度一定と仮定する。式の上から見れば、制動のかかる区間だけで減加速度一定のステップ関数で示される。

5. 基本方程式の変形

運動方程式を解くためには(1)、(2)の式をそのまま解いて充分であるが、この問題を対象にした場合、少し変形するとより便利になる。この変換は独立変数を時間から距離に直す操作を行えばよい。(1)式の右辺

を見ると時間の関数というものはなく、全て速度と距離の関数である。また実際問題を考えても、距離を独立変数にとった方が便利である。よって筆者は距離を独立変数にとることにし、(1)式を加速度に関する方程式に直す。すなわち、(1)式の T, R, G, B をそれぞれ $W(1+r)$ で割ったものを f, r, φ, b 、とすれば(1)(2)式は次のように表わされる。

$$\frac{dv}{ds} = \frac{f - r \pm \varphi - b}{v} \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{dt}{ds} = \frac{1}{v} \dots\dots\dots(7)$$

同様に(3)式も次のように書きかえる。

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{T_0}{W(1+r)} = r_0 \\ f &= a_i + b_i(v - v_0) + c_i(v - v_0)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

$(i=2, 3, 4, 5)$

2.2 列車の運転条件の決定法

前述のように、以上の方程式からだけでは列車の運転はきまらない。運転条件(すなわちノッチオフ、ノッチイン、ブレーキ箇所)をきまなければならない。これまでの文献でもこの点をどのように与えるかに苦勞しているようであり、この部分の如何によりそのプログラムの有用性が定まってくる。運転条件を線路条件からまとめるということを具体的にいえば、各所にある速度制限を与えられた条件で通過するというのである。(1)、(2)式をみればわかるように力を制御しても直ちに所定の速度、距離にならない。すなわち速度は1次、距離は2次の遅れ系になっている。したがって所定の位置で所定の速度になるためには、予め先の運動を予測して前もって力の制御を行わねばならない、ところが現在位置から次の速度制限区間までの勾配分布が既知でないや予測できないわけである。たとえばこれが全部わかったとしても、予測になんらかの特別な方法を採用しない限りは、全区間を計算して cut and try で運転条件をきめるほかはない。これは莫大な計算量を必要とし、当初の所定の時間内での計算は不可能である。我々はこの部分に新しい判定法を採用した。これはエネルギーを基準に判定を行う方法である。すなわち、現在列車の持っているエネルギー(=列車の運動エネルギー+位置のエネルギー)と、現在点から次の指定点までの間で消費される熱エネルギーの和が、指定点で列車が持つべきエネルギーに等しくなる地点に達した時、運転条件を変更する。問題になることは必要とされるエネルギーがどの程度まで正確に予測計算できるかということにつきるわけであ

る。

この点を詳細に検討してみよう。現在列車が位置 s にあって速度 v をもっていると仮定しよう。現在まで力行状態で運転し、以後惰行状態に移るものとすれば

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -r + \varphi - b \dots\dots\dots(9)$$

この式を変形し、現在地点より次の速度制限地点 s_l まで積分すると

$$v_l^2 - v^2 = 2 \int_s^{s_l} \{-r(v)\} ds + 2 \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i (s_{i+1} - s_i) - 2b(s_l - s_a) \dots\dots\dots(10)$$

ただし $s_1 = s, s_{n+1} = s_l, s_a =$ 制動始距離

$$\text{いま } J = v_l^2 - v^2 + 2 \int_s^{s_l} r(v) ds - 2 \sum_{i=1}^{i=n} \varphi_i (s_{i+1} - s_i) + 2b(s_l - s_a) \dots\dots\dots(11)$$

とおき、 $J \geq 0, J < 0$ によって運転条件を変更すべき地点 (v, s) に達したかどうかを判断する。すなわち J が正の値から負の値に変わる時に運転条件を変更すればよい。ただし問題になるのは右辺の積分の可能性である。厳密にとくためには、 $s-v$ の関数を求めねばならない。結局、現在点以降の運転を解くということになる。列車が少しずつ進行するごとに、以降の運転曲線を全て求めて判断の資料にするということは、不可能でないにしても膨大な時間を要し現実的でない。我々はここで運転という問題の特異性を考慮して、この困難を逃げることにした。速度制限箇所は正確に v_l の速度で通過することが望ましいが、ある程度 v_l より小さい速度で通過しても差支えないという仮定をおく。この仮定は現実の運転から推論しても充分保証される。実際上も、速度制限点を正確に与えられた速度で通過することは不可能であるし、その上列車の速度計には割合大きな誤差を伴なうということから、運転計画には速度制限通過速度は規定の5%おちにしている。したがって $r(v)$ の計算にある程度の誤差があっても差支えない。 R_l の誤差が v_l の誤差に及ぼす影響の数値的検討の結果、 v と v_l のうち小さい方の速度に対する走行抵抗で r を代表しても、速度制限通過速度の誤差は5%を超えない。そこで r を r_0 で代表してこの運転条件を判断することにした。

制動始距離 s_a は、いろいろな他の運転条件から計算して、速度制限に固有の値として扱う。惰行だけでこの速度制限を通過する時は、当然 b は零で最後の項が省略される。以上より

$$J = v_l^2 - v^2 + 2r_0(s_l - s) - 2 \sum_{i=1}^n \varphi_i (s_{i+1} - s_i) + 2b(s_l - s_a) \dots\dots\dots(12)$$

を最終的に力行惰行の判断式とする。また惰行から制動の切替の判断式は、同様な考え方に従って判断を行う。

$$J' = v_l^2 - v^2 + 2(b - \bar{\varphi})(s_l - s) \dots\dots\dots(13)$$

ただし $\bar{\varphi}$: 速度制限箇所前 625 m 間の平均勾配による力。

この他の判断は最高速度、惰行、力行切換などがあがるが、これは遅れ系にならないのでこの判断は簡単である。

3. 温度上昇の計算について

電気車の性能の一つである引張力-速度曲線によって得られる結果は、重要な参考資料をうることができるが、運転の問題を完全に取扱うには充分であるとはいえない。というのは与えられた引張力-速度曲線から得られた運転の状況が、電気車の他の性能に対して適合しているかどうかわからぬからである。電気車用主電動機の性能を制限するものは一般に温度上昇を対象とする。最高許容回転数については引張力-速度特性で既に領域を規定されている。我々は主電動機について慣習的ではあるが、電動機を構成する界磁巻線とか電機子巻線の許容温度上昇を規定して、これらの限度を超すことは許されない。温度上昇を考慮すべき運転状況は長い連続的な上り勾配である。このような場合に荷重を幾らにとればよいかということを確認するには、電動機に熱的慣性があるために、なかなかうるさい問題である。

3.1 計算の方法

均質物体の温度変化の法則は次のような微分方程式で表わされる。

$$S \cdot Wg \frac{d\theta}{dt} = \theta - F \cdot h(\theta - \theta_0) \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 $S \cdot Wg$: 熱容量 (kcal/deg), S : 比熱, Wg : 重量, $F \cdot h$: 放熱係数 (kcal/deg-sec), F : 表面積, h : 熱伝達率, θ : 物体温度, θ_0 : 外気温度, Q : 熱損失 (kcal/sec)

ここでは温度上昇の計算はこの式のままで計算することとし、 $S \cdot Wg, F \cdot h, Q$ を検討することにした。このうち $F \cdot h, Q$ は運転の状況で変化するので、この値を推定することはなかなか困難である。特に新しい電気機関車を設計する場合には困難である。しかし今まで行われてきたように、時定数を仮定して計算するよりも、より实际的である。駆動電動機のような不均質のものでは構成部分の温度上昇、冷却は内部の熱

的回路が複雑で実際には簡単な法則に従うものではない。しかし実用的には十分な近似を得ることができるということを既に過去の成績が教えているし、またこれで充分なのである。

3.2 放熱係数について

半定量的には、対立した面を通過する冷却媒体の性質を考えることによって放熱係数は求められるが、実際はそのように簡単ではない。そこで実用的な値は実験によって推定することになる。この値は材料、通風の方向、通風力、回転数等によってこととなるが、放熱係数の値を車両の速度の関数として表わし、速度について正確を期するために、2箇の1次式でもって近似することにした。この値についてはさらに実験によってその実験式を材料、通風、回転数等について正確に求めることが必要でその準備を進めている。そして如何なる形式の主電機に対しても相応の値を推定できるようにしなければならない。現在ではあまりにも資料が少なすぎる。

3.3 損失について

次に考えるべき問題は損失である。損失は電動機の場合、加えられた電気エネルギーの一部が熱損失となるもので次のものが考えられる。 I^2R 損失、ヒステリシス損失、渦流損失および機械損である。実際にはこれらを単独に測定してもまだ他に不明確な損失が考えられるので、漂遊損なるものも考慮しているが、この分量は僅かである。本計算としては損失を総合して

$$W=f(p) \dots\dots\dots(15)$$

なる形で表現した。ここで W は全損失（電機子）、 P は出力である。問題は（15）式で表わした損失の意味が、我々の考えている運転曲線の計算にどの程度の正確さを有するかである。同一端子電圧の下における出力と損失との関係を簡単に実際とも良く合う式を実験によって定める必要がある。

現在、放熱係数と損失について実験を計画している。これは過去の温度上昇測定結果ではその範囲が充分でなく、計算の信頼度を向上するため、印加電圧の範囲、すなわち速度範囲を従来より拡大して実験するものである。この結果の理論的解析により電動機のデザインあるいは使用について著しい改善が見られよう。

4. プログラミング

4.1 積分公式の決定

デジタル計算機であるから、扱える数値は全て不連続なある一定の最小変化量がある。このようなもの

で連続的な微積分の問題を扱うには、有限の微小区間で近似することになる。我々の使用したのは2点近似法である。距離から速度を求める場合は現在と未来の2点での微係数を計算し、この平均値で必要な速度値を計算する方法を取った。

時間を求める場合は現在の速度値と上述の方法で求めた未来の速度の平均速度で走行するものとして時間増分を計算した。他の積分（平均二乗電流、温度）はこのようにして求めた時間、速度を基にして計算する。平均二乗電流を求める場合は、現在および過去の電流について次のような平均を取ることにした。

$$(\bar{I})^2 = \frac{I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2}{3} \dots\dots\dots(16)$$

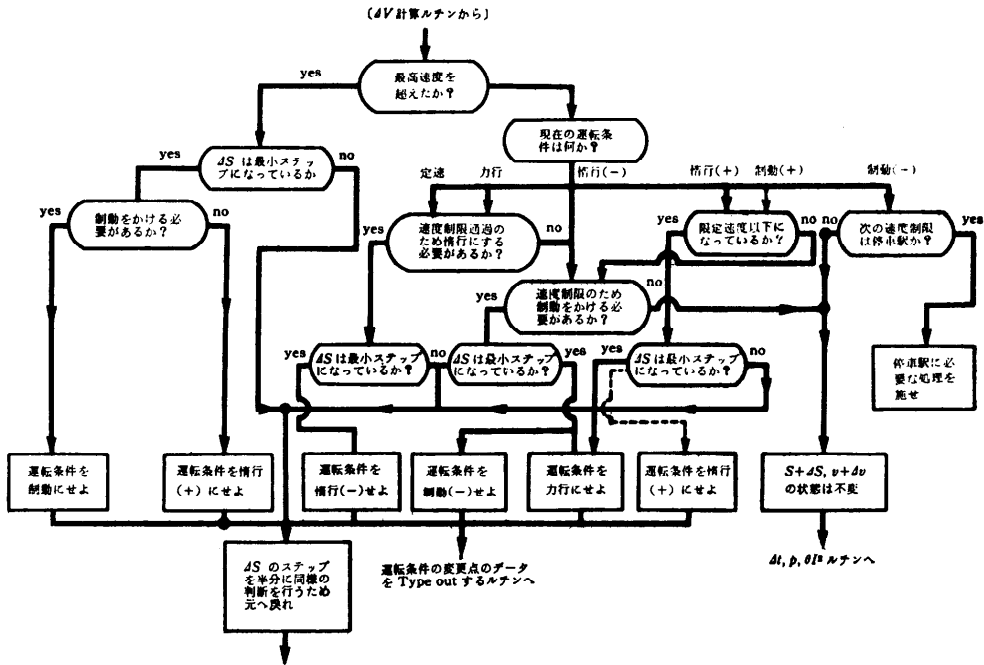
これらの積分方法および被積分関数の平均化方法にはそれぞれ理由があるが、長くなるので省略する。ただ各式の積分精度があまり不均衡にならないようにこれらの式を選んだ。

4.2 微係数不連続点での取扱い

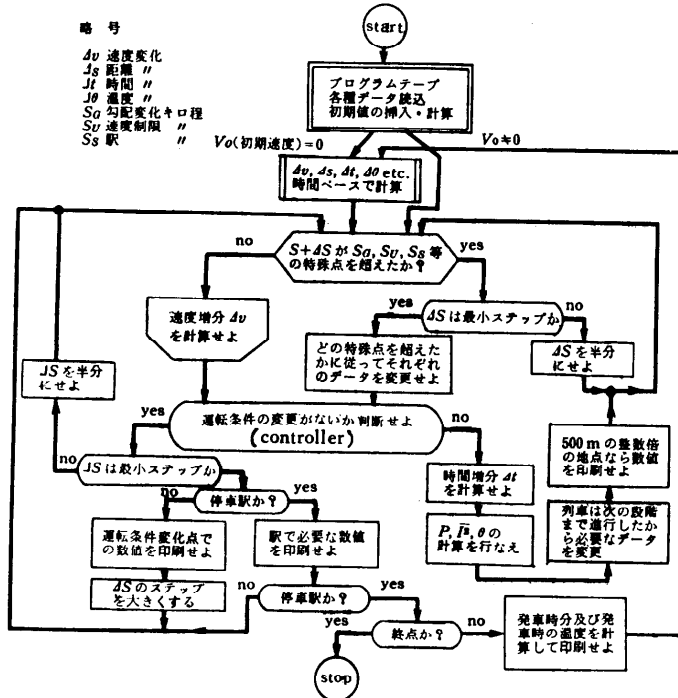
積分精度をあげるためには積分の最小ステップを小さくすればよいが、一方計算時間は反比例して増大する。そこで微係数の連続的な所は割合ステップを大きくとり、微係数の不連続が起る所では積分ステップを小さくして不連続点に近ずき、計算誤差が大きくならないように留意している。予備的な机上の計算から積分のステップは 250 m (0.25 km) で充分であるのでこれを採用した。また勾配や運転条件の変化点では微係数が不連続になるので、ここでは 1/64 km (≈ 15.6 m) が最小の積分ステップとなる。この変更は微係数の異なる所にさしかかった時、すなわち現在距離に $4s$ の積分ステップを加えた時に不連続点を越えるようならステップを半分にして計算を行う。 $4s$ が 1/64 km になれば計算上不連続点に達したと考えて必要なデータの変更、あるいは新しい計算手順に従って計算を続行する。

4.3 出発点（速度零点）の特殊性

(6) (7) 式からもわかるように、距離を独立変数にとったため、出発点では右辺の微係数が無限大になる。この困難を除くため出発点だけは時間を独立変数にとった計算式、(1), (2) を用いる。この計算ルチンを starting program と呼ぶ。このプログラムが動作している時間は実時間で5秒間である。したがって相当大きな引張力をもった動力車でもこの時間内での走行距離は 10 m 前後であるから、この間には勾配の変化がないと考えてよい（たとえあったとしても誤差



第4図 controller (運転条件判断) のフローダイアグラム



第5図 列車運転シミュレーションのフローダイアグラム

は要求内に収っている)。また粘着引張力に比して走行抵抗は無視し得るから、式の形は簡単になって

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{1}{2}(f+\varphi)t^2 \\ v &= (f+\varphi)t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

さらにこの区間での電気的特性は、このプログラムで必要なルチン呼び出して計算する。

4.4 Controller (運転条件判断プログラム)

この部分はこのプログラムの頭脳部で、ちょうど運転手が列車を運転すると同じように列車の運動(方程式)を制御する。前に運転条件を式の上で解析したのは主に遅れのある制御系としてみた場合の制御の仕方であるが、遅れない場合の判断も必要である。

第4図に示すような手順でこの判断を行っている。簡単にこの判断種類を示すと、

- (1) 現在速度が最高速度を超えたか?
- (2) 最高速度を超えず、また現在の運転条件が力行である場合は次の速度制限をちょうど良く通過するために惰行に移る必要ありや?
- (3) 現在の運転条件が惰行である時、次の速度制限を通過するためには制動をかける必要ありや?
- (4) 惰行であまり速度が落ちすぎている(限定速度以下になる)と力行に切り換える。
- (5) 制動で限定速度以下になった場合 惰行に移る。これらの判断が互に関連性を持って適当に組み合わせられたものが判断ルチンの主要素となっている。

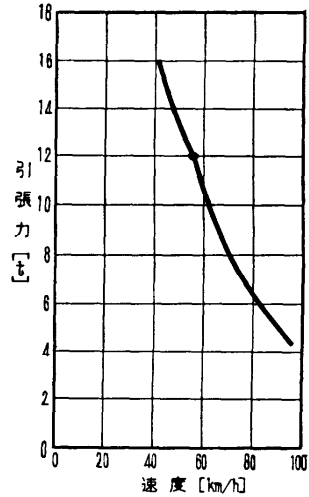
4.5 フローダイアグラム

これまで述べてきた基本式と条件から作り上げたフローダイアグラムを第5図に示す。現在列車が s, v の状態にあるとし、この点から ds の距離だけ進んだと仮定する。 $s+ds$ が特殊な場所(勾配変化・速度制限・通過駅)を通らない時は ds に対応する速度変化 dv を計算する。特殊な点を含む時は 4.2 に示すような方法でこの地点に近づく。得られた $s+ds, v+dv$ は次の段階における列車の状態であるが、この状態を取り得るか否かは controller で判断される。何の支障もない時はこの間に要した時間および電気的諸特性を計算し、 $s+ds, v+dv$ を新しい s, v と考えて、同様のことを行う。もし、 s, v と $s+ds, v+dv$ の間で運転状態に変化のある場合は ds を半分にして同様な判断を行う。 ds が定められた大きさになった時この点で運転状態が変化するとみなし必要なデータおよび運転条件の変ったことを外部に表示する。列車が停車状態から出発する場合は starting program

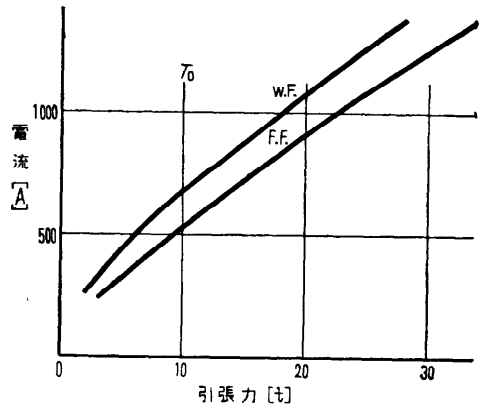
を通り、 s および $v(v \neq 0)$ を計算してから同様の手続によって計算を行う。

5. 運転曲線の試算データ

以上をもとにして、Bendix G-15 D による運転曲線の試算に当り、取りあえずのデータとして ED 70 形式の機関車で白河-福島間を旅客 500 t 牽引の場合を試算してみる。



第6図 ED 70 速度 - 引張力特性



第7図 ED 70 電流引張力特性

- (1) 牽引機のデータ
 - (i) 速度引張力特性 (第6図)
 - (ii) ED 70 走行抵抗

力行 $R_L = 107.3 + 0.521v + 0.0369v^2$
 惰行 $R_L' = 146.9 + 0.435v + 0.0369v^2$

- (iii) 機関車重量 62 t
- (2) 電流, 温度に関するデータ
 - (i) 引張力 - 電流特性 (第7図)
 - (ii) 損失および効率 (損失は第8図)
 - 効率 界磁状態: FF₁ FF₂ WF₁ WF₂
 - %: 92 92 93 93

- (iii) 温度上昇に関するデータ (第9図参照).

$$SWg \frac{d\theta}{dt} = L - F(K + I_V)(\theta - \theta_0)$$

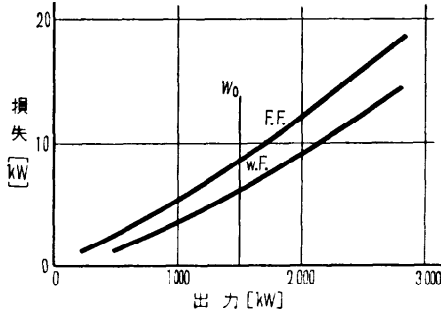
SWg S=0.1 とし (比熱)

Wg: 762 kg (電機子重量)

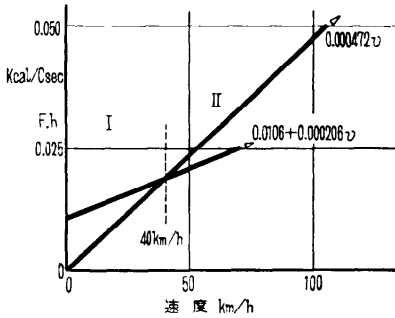
F=0.4 × 10⁻¹ m² (電機子有対放熱面積)

L: lossin kW (電機子内での損失)

V: Speed in km/h (列車速度)



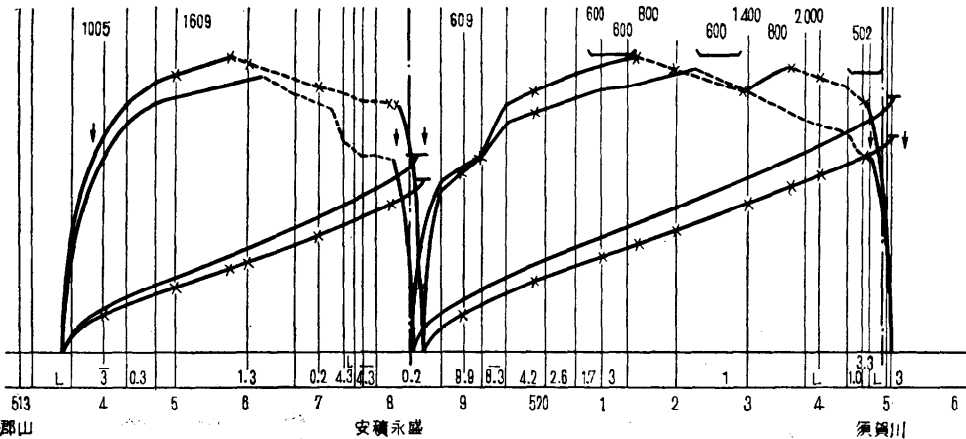
第8図 ED 70 出力 - 損失特性



第9図 ED 70 電機子速度 - 熱伝導率特性

第1表 試算データ

距離	速度	時刻	温度	平均二乗電流	引張力	運転条件
513.38	.0	.00.00	20			
513.50	30.5	.00.29	20			
514.00	61.9	.01.07	20			
514.50	73.4	.01.33	21			
515.00	79.3	.01.57	22			
515.50	83.2	.02.19	22			
515.75	84.8	.02.30	23	409899	.00.....-1	停車のための引張中止
516.00	83.0	.02.40	23			
516.50	79.3	.03.03	23			
517.00	76.4	.03.26	23			
517.50	72.0	.03.50	22			
518.00	71.0	.04.15	22			
518.11	70.4	.04.20	22	235984	.00.....-2	制動開始
518.45	.45.55	.22	208014	60.9		停車
	.05.55	.22				
518.50	18.4	.05.45	22			
519.00	51.2	.05.33	23			
519.50	69.7	.07.03	24			
520.00	75.1	.07.28	25			
520.50	79.0	.07.51	25			
521.00	82.6	.08.14	26			
521.45	84.8	.08.33	26	407064	.00.....-1	速度制限のための引張中止
521.50	84.5	.08.35	26			
522.00	81.0	.08.57	26			
522.50	77.6	.09.19	26			
522.94	74.6	.09.41	27	299831	7.17.....-4	加速
523.00	75.4	.09.43	26			
523.50	80.5	.10.06	26			
523.63	81.5	.10.12	27	296606	.00.....-1	停車のための引張中止
524.00	79.2	.10.29	26			
524.50	74.6	.10.52	26			
524.66	71.6	.10.59	26	254274	.00.....-2	制動
525.02	.11.35	.26	212495			停車
	.12.05	.26				



第10図

熱伝達率は実験値から次のようにおく。

$$FK + Fl_V = 0.0106 + 0.000206 V \text{ kcal/deg-sec}$$

$$V < 40 \text{ km/h}$$

$$FK + Fl_V = 0.000472 V \text{ kcal/deg-sec}$$

$$V > 40 \text{ km/h}$$

以上のデータより、このプログラムを使っての計算結果およびそれをグラフにプロットしたものを第1表、第10図に示す。

6. あとがき

このシミュレーションのプログラムは当初、運転の基本的な問題を解析することを主目的とし、現実の列車運転のシミュレーションまで行う積りはなかったのであるが、現実の焦眉となっている東海道新幹線の設計試料が得られるように作成したいとのことで、目的を少し変えて、種々の車両について何回もの計算が簡単に行えるような方針でプログラムを作成した。したがって当初予定していたよりずっと命令構成は複雑になった。もっとも計算の基礎になる方程式はなんら変るところはないが、運転手の判断、動作を模擬するために計算自体より運転のための論理判断が中心的な役割を演じている。

なお、このプログラムで新幹線の車両設計に関する基礎データを相当量計算したが、数字を並べることは現段階で支障があったので面白い結果が出ているが公表できないのが残念である。

計算の基礎式や判断要素については若干の問題点も残っている。特に温度上昇の式については、現段階では実験データが不足しているので、また改良する予地

が残っている。さらにもし可能なら単にモーターの問題だけでなく、変圧器や電気、温度特性も合せて計算したいと思っているが、これは今後に残された問題である。

運転の問題は経験的要素が多いため、計算機のような完全な論理機械で全てが解析されとも考えないが、将来はこのような方向に進むであろうし、また進めねばならないことが近時痛感されてきている。この報告がその面での進展に若干なりとも寄与するところがあれば筆者等の幸とするところである。

参考文献

- 1) Hartree, D.R. & Ingham, J.: Note on the Application of the Differential Analyzer to the Calculation of Train Running Times: Memo and Proceeding of the Manchester Library and Philosophical Society. Vol. 83, No. 1, 1938~1939
- 2) Smith, S.W.: A New Train Performance Calculator, A.I.E.E. Vol. 70, 1951.
- 3) J.E. Hogan: Train Performance and Locomotive Tonnage Ratings Calculated by Digital Computer, A.I.E.E. July 1958
- 4) A. Gilmour: Digital Computer for Electric Tractive Problem: Convention on Digital Computer Technique Apr. 1956
- 5) J.E. Hogan: Train Performance Calculated by Digital Computer-Supplemental Programs. A.I.E.E. May 1960
- 6) 安達彦一, 稲田伸一: 運転曲線計算機, 鉄道技術研究所速報 58-186

(昭和36年7月12日受付)

超高速固定記憶装置*

畔柳功芳**

1. 緒論

電子計算機には小容量の高速度記憶装置と大容量の低速度記憶装置が準備され、必要な数値や命令が蓄えられている。大量の計算を高速度に遂行するには、大容量の高速度記憶装置が必要になるが、それは極めて

高価である。サブルーチンや定数の集積であるライブラリーは一つの計算機に固有な情報群であるから、廉価な固定記憶装置がライブラリーに用いられる。しかし固定記憶装置が低速度であるとするれば、その情報が必要になる前に高速度記憶回路に予め読み出して置き、計算機の演算速度に追従せしめつつ演算装置の所望の回路に伝送することが必要となり、高速度記憶回路の負担を増す。

* High-speed Fixed Memory, by Noriyoshi Kuroyanagi (Electrical Communication Laboratory, Tokyo)

** 電気通信研究所